

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

мікроелектроніки

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності: 153.01 мікроелектронні інформаційні системи

(код і назва)

на тему: Керований фільтр на основі мікросмозжкової лінії

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ДП-82мп

(шифр групи)

Самойлов Андрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проф., д.ф.-м.н., Поплавко Ю.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Науковий консультант к.т.н., доц., Татарчук Д.Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю проф., к.т.н. Орлов А.Т.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н. Діденко Ю.В.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Реферат

76 сторінок, 6 розділів, 19 ілюстрацій, 29 таблиць, 34 джерела за переліком посилань.

Розвиток інформаційних технологій висуває суворі вимоги до зниження витрат, підвищення надійності, зменшення розмірів і ваги вузлів комунікаційного обладнання. Ці вимоги може задовольнити наступне.

Цим вимогам можна задовольнити розробку нових, більш ефективних конструкцій. Одним з перспективних способів вирішення цієї проблеми є широкий спектр пристроїв на основі мікросмужкових ліній електропередачі.

Смужкові лінії - це планарні варіанти двопровідних та коаксіальних ліній.

До переваг смужкових ліній та пристроїв на їх основі належать:

- 1) можливість автоматизації (а отже, зниження собівартості) виробничого процесу;
- 2) невеликі габарити і вага;
- 3) простота виготовлення.

Тому головним завданням дисертації є розробка контрольованого мікрохвильового фільтру на основі неоднорідних мікросмужкових ліній. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести огляд та порівняльний аналіз існуючих конструкцій мікросмужкових фільтрів;
- на основі аналізу запропонувати проект фільтра для діапазону частот 0,5 ... 2 ГГц;
- провести числове моделювання та експериментальне дослідження запропонованої конструкції фільтру.

Об'єктом дослідження є керований мікрохвильовий фільтр на основі неоднорідних сегментів мікросмужкових ліній. Предметом дослідження є електродинамічні характеристики керованого фільтра. Для дослідження були використані

методи аналізу і синтезу НВЧ- пристроїв, методи вирішення математичних задач на ЕОМ, аналітичне і натурне моделювання.

Ключові слова: неоднорідна мікросмужкова лінія, фільтр НВЧ, електро-
механічне керування.

Abstract

76 pages, 6 sections, 19 illustrations, 29 tables, 34 reference lists.

The development of information technology places stringent demands on reducing costs, improving reliability, reducing the size and weight of nodes in communication equipment. These requirements may satisfy the following.

These requirements can be met by developing new, more efficient designs. One of the promising ways to solve this problem is the wide range of devices based on microstrip transmission lines.

Strip lines are planar variants of two-wire and coaxial lines. The advantages of strip lines and devices based on them are:

- 1) the possibility of automation (and therefore cost reduction) of the production process;
- 2) small size and weight;
- 3) ease of manufacture.

Therefore, the main task of the dissertation is to develop a controlled micro-wave filter based on heterogeneous microstrip lines. To achieve this goal, you must solve the following tasks:

- Review and comparatively analyze existing designs of micro-strip filters;
- on the basis of analysis, propose a filter design for the frequency range 0.5 ... 2 GHz;
- Conduct numerical modeling and experimental study of the proposed filter design.

The object of the study is a controlled microwave filter based on inhomogeneous segments of microstrip lines. The subject of the study is the electrodynamic characteristics of the controlled filter. The following methods were used for the study:

A new method of controlling a resonant-type pass-through filter is investigated

Keywords: inhomogeneous microstrip line, microwave filter, electromechanical control

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
1. Загальний огляд смужкових лінії передачі.....	10
1.1 Смужкові лінії передачі	10
1.2 Типи смужкових ліній.....	11
1.3 Переваги та недоліки смужкових ліній.....	15
Висновки по розділу	17
2.ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НВЧ ПРИЛАДІВ	18
2.1. Способи виготовлення смужкових НВЧ приладів	18
2.2. Матеріали що використовуються при виготовленні смужкових НВЧ елементів	21
Висновки по розділу	26
3 Фільтри на основі смужкових ліній.....	27
3.1.Типи фільтрів НВЧ, їх призначення, характеристики.....	27
3.2. Основні структури і фізичні основи роботи фільтрів	29
3.3 Принципи керування фільтрами на базі смужкових ліній.....	31
3.4 Схеми керування фільтрами на базі смужкових ліній	32
3.5. Способи керування характеристиками фільтрів на основі мікросмужкових ліній.....	33
Висновки по розділу	37
4. ФАЗООБЕРТАЧІ	38
4.1 Різновиди фазообертачів	38
4.2. Особливості конструкції фазообертачів.	40

4.3. Параметри фазообертачів.	42
4.4. Конструкція фазообертача на основі мікросмужкових ліній із ступінчастою неоднорідністю.	43
Висновки по розділу	46
5. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРА НА ОСНОВІ НЕОДНОРІДНИХ ВІДРІЗКІВ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ	47
5.1. Теоретичне дослідження та розрахунок обраної конструкції керованого фільтра на основі мікросмужкових ліній.....	47
Висновки по розділу	57
7. Розробка стартап проекту.....	58
Висновки по розділу	71
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	73

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій вимагає зниження витрат, надійності, зменшення розмірів та зменшення ваги комунікаційного обладнання.

Тільки розробка більш ефективних структур може відповідати цим вимогам. Одним з перспективних способів вирішення цієї проблеми є розробка пристроїв на основі мікросмужкових ліній електропередачі.

Подібно до двопровідних та коаксіальних ліній, широкосмугові характеристики ліній пояснюються тим, що вони можуть поширювати поперечні електромагнітні хвилі ТЕМ (точніше квазі-ТЕМ-хвилі).

Всі інші переваги ліній та пристроїв обумовлені майже двовимірною (площинною) напівпровідниковою конфігурацією. Технології надвисокої частоти все частіше використовують різноманітні системи на основі пропускну здатності.

В даний час смужкові лінії є єдиним перспективним видом лінії електропередач для мікроелектроніки в діапазоні НВЧ. Це також тісно пов'язане з рішеннями багатьох проблем бездротової інженерії, таких як надійність бездротових пристроїв.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

ЗФ – загороджувальний фільтр

ІС – інтегральна схема

КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі

МСР – мікросмужковий резонатор

МСЛ – мікросмужкова лінія

НВЧ – надвисокі частоти

СПФ – смуго-пропускний фільтр

ФВЧ – фільтр верхніх частот

ФНЧ – фільтр нижніх частот

ФО – фазообертач

ФЧХ – фазо-частотна характеристика

1. Загальний огляд смужкових лінії передачі

1.1 Смужкові лінії передач

Коаксіальні лінії, смугові лінії та хвилеводи зазвичай використовуються як лінії передачі. У пристроях довжини хвилі, довжина яких знаходиться в межах сантиметра і дециметра [18,14]

Хвилеводи мають відносно невеликі втрати, дозволяють отримати якісну добротність, а також мають повний екран. Однак у хвилеводів є ряд недоліків, а саме: вони мають великі розміри і мають високу місткість і низьку рухливість. [5]

Елементів коаксіальних ліній значно менше. Однак для їх виготовлення слід дотримуватися допусків, і цей факт свідчить про те, що коаксіальні лінії є складнішими і дорожчими у виробництві.

Через те, що звичайні хвилеводи та коаксіальні лінії мають достатню складність вузлів, а також мають високу вартість, виникла потреба використовувати смужкові лінії передачі. [18]

Смужкова лінія - лінія передачі електромагнітних хвиль, утворена смуговим провідником, розташованим симетрично між провідними екранами в повітряному або діелектричному наповненні. [13]

Мікросмужковою лінією називається несиметрична лінія перенесення, яка зазвичай проводиться на підкладці з високим діелектричним проникненням, інша сторона якої покрита металевим шаром або екраном.

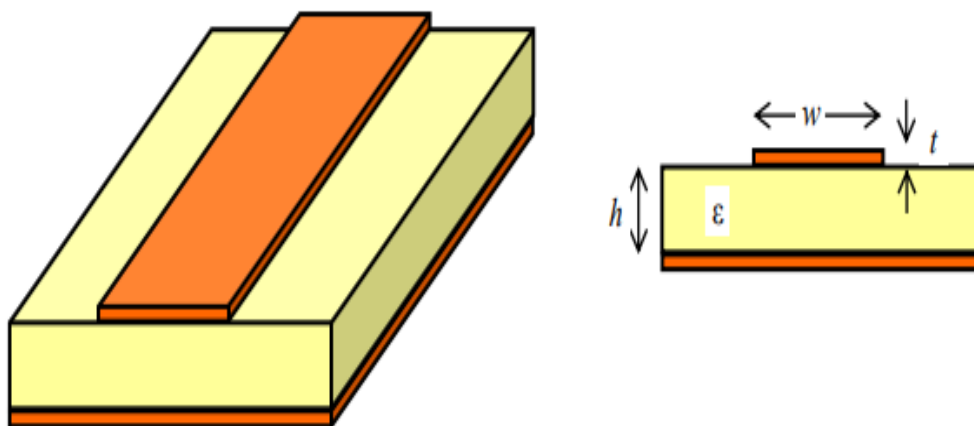


Рис. 1.1 – конструкція мікросмушкової лінії передачі [3]

Така лінія передачі називається мікросмушкою, оскільки діелектрична проникність підкладки настільки велика, що довжина хвилі лінії значно коротша, ніж довжина хвилі у вільному просторі.

Основна перевага мікросмушкових ліній та різних на їх основі пристроїв - можливість автоматизації виробництва з використанням технологій виготовлення друкованих плат, гібридних та плівкових інтегральних схем [7, 9, 20].

1.2 Типи смужкових ліній

В даний час термін "смугова лінія" означає дуже різну конструкцію ліній електропередачі, тому важко дати єдине чітке визначення дати. До смужкових ліній відносяться системи з двох або більше струмопровідних смуг, по яких поширюються електромагнітні хвилі. [2].

Розрізняють два основних типу смужкових ліній:

- а) несиметрична (рис 1.2,а);
- б) симетрична (рис 1. 3,б).

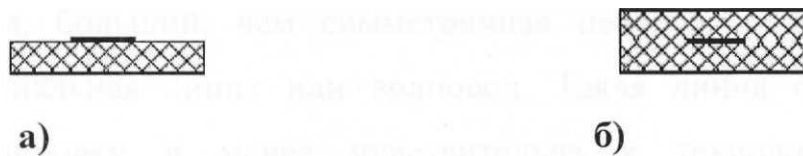


Рис. 1.2 –Основні типи смужкових ліній [4]

Асиметрична надрукована смуга - це пластина із певною схемою провідників (провідникових смуг), нанесених на одну сторону, та металізацією, виготовленою з діелектричного матеріалу, що утворює з іншого боку провідну площину заземлення. Особливістю цієї лінії є простота експлуатації, виготовлення та налаштування.

Недоліком асиметричної смужкової лінії є те, що екрану немає, а втрати збільшуються порівняно з симетричною лінією. Однак якщо діелектрична проникність підкладки велика, втрати випромінювання невеликі, оскільки електричне поле зосереджене в області між провідником і площиною землі. Це дозволяє використовувати асиметричні лінії в інтегральних мікрохвильових схемах (їх називають мікросмужковими лініями передачі). Щоб зменшити розмір мікросмужкової інтегральної високочастотної схеми, виберіть діелектрик з високою діелектричною проникністю ($\epsilon =$ приблизно 10) [6].

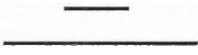

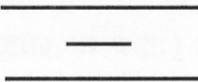
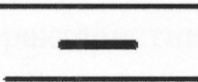

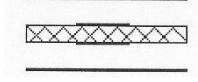
У симетричній лінії центральний провідник укладається між двома діелектричними пластинами з металевим зовнішнім верхом. Такі лінії дуже складні у виробництві і складні в налаштуванні, тому механічне випромінювання симетричне і дозволяє уникнути великих втрат. Під час налаштування центральний провідник симетричної смуги недоступний. [19].

Існують також високодобротні смужкові лінії, які використовуються, коли потрібно підтримувати добротність ненавантаженої лінії (приблизно 2000). Високкодобротні лінії передачі мають більший об'єм, ніж симетричні лінії друку, і менші, ніж коаксіальні лінії або хвилеводи. Такі лінії забезпечують хороший екран і менш чутливі до технічних змін діелектричної постійної та товщини підкладки [9,14].

Вибір типу смужкової лінії повинен відповідати певним вимогам. Лінії має мати невисокі втрати, відсутність можливості безперервного виробництва, легкою установкою, малим об'ємом і вагою, стабільними параметрами та низькою вартістю.

У цій таблиці наведено переваги та недоліки основних типів смужкових ліній:

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика типів смужкових ліній[2]

Тип смужкової лінії	Переріз лінії	Переваги	Недоліки
Несиметрична смужкова лінія		Мала вага	Відсутність екранування, великі втрати
Несиметрична печатна смужкова лінія		Невеликі розміри, мала вага, низька вартість	Великі втрати, відсутність екранування
Микрополосковая линия (с высоким $\epsilon \approx 10$)			
Симетрична смужкова лінія з повітряним наповненням		Малі втрати, мала вага	Великі габарити
Симетрична смужкова лінія високої граничної потужності		Висока гранична потужність	Великі габарити, висока вартість
Симметрична печатна смужкова лінія		Малі габарити	Відносно великі втрати
Високодобротна смужкова лінія		Малі втрати	Відносно великі розміри

У більшості випадків, мікросмужкові лінії, виробляють у вигляді металевих шарів з невисокою товщиною, які розміщують на діелектричну підкладку.

Діелектричний матеріал, що відповідає низьким втратам, повинен відповідати наступним умовам:

- фторопласт;
- поліетилен;
- кераміка.

Однак існують також системи металевих пластин, які не використовують суцільні діелектрики. [3]

Смужові лінії використовуються не тільки для систем передачі енергії, але і для виготовлення різних елементів височастотного обладнання.

Мікросмужові лінії передачі можуть бути використані в гібридних та монолітних мікрохвильових мікросхемах.

У гібридних ІС дискретні компоненти розміщені в невеликих мікросмужкових корпусах (або модулях). У монолітному ІВ всі елементи схеми частково встановлені всередині та на поверхні типової напівпровідникової пластини.

Переваги гібридних схем перед монолітними:

- кращі електричні характеристиками;
- широка смуга пропускання;
- малі шуми;
- більш висока добротність.

Монолітні схеми мають свої переваги, а саме: більш низька вартість, менші габарити і більшою мірою пристосовані для автоматизації виробництва.

1.3 Переваги та недоліки смужкових ліній

Порівняно з хвилеводами та коаксіальними лініями електропередачі, смужкові лінії мають такі переваги:

1) Майже всі елементи та вузли високочастотних пристроїв можуть бути розміщені в одній площині. Виготовлення смужкових схем використовують ту саму технологію та методику, що і традиційні плати для низькочастотних схем. Ця перевага дає можливість створювати схеми, які складаються з багатьох складних структурних частин, а також досягає високої точності. [2,3].

2) Висока точність при виготовленні пристроїв на смужкових лініях дає можливість точно відтворити характеристики пристрою.

3) Елементи мікрохвильових приладів на основі хвилеводної або коаксіальної технології мають великі розміри, на відміну від них, смужки не мають цих недоліків. Крім того, у смужі хвилі поширюють хвилі з характеристиками, схожими на хвилі ТЕМ. Для таких хвиль критична довжина хвилі нескінченна, а бічні розміри смуги можуть бути зменшені. З цього можна зробити висновок, що довжина хвилі лінії близька до довжини хвилі вільного простору, наповненого діелектриком, і $\sqrt{\epsilon \cdot \mu}$ перевищує вертикальний розмір пристрою на смужі смуги (де ϵ , μ - відносна проникність матеріалу). Діелектрик, який використовується для виготовлення смужкової лінії, виглядає як тонка плита, а провідний матеріал (метал) виконаний у вигляді тонкої плівки.

4) Смужка має більш широкий діапазон робочих частот, ніж прямокутний хвилевод. Немає обмежень щодо використання низьких частот. Однак резонансний елемент збільшується з 100 МГц. Використовуючи високі частоти, слід пам'ятати, що хвилі можуть бути вищих типів. За цієї умови довжину хвилі можна порівняти з горизонтальним розміром лінії.

Недоліки мікросмужкових ліній:

1) Потужність пробою смугової лінії в кілька разів менша за потужність пробою прямокутного хвилеводу, а втрати - більші. Потужність пробою смугової лінії становить приблизно один порядок у коаксіальному хвилеводі, але втрати невеликі. Довжина хвилеводу з пристроєм може бути набагато довше, і при такому єдиному колі, побудованому на лінії смуги, він буде набагато коротшим і, таким чином, загальні втрати зменшуються..

2) Більш складна техніка вимірювання. При вимірюванні параметрів використовують коаксіальні лінії і хвилеводи.

Вищенаведене обговорення дозволяє припустити, що смужкові лінії використовуються в діапазоні частот понад 100 МГц і розраховані на середні та низькі рівні потужності, де відбуваються відносно невеликі втрати.

Існує кілька правил, яких необхідно дотримуватися при проектуванні та виробництві мікрохвильових вузлів на смугі.

Висновки по розділу

Показані вище характеристики смужкових ліній обумовлюють межі їх використання, а саме:

- робота в діапазоні частот вище 100МГц;
- смужкові лінії розраховані на малий та середній рівень потужності;
- невеликі розміри;
- низька вартість.

Смужкові лінії являються гарним рішенням для вирішення поставленої задачі

2.ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НВЧ ПРИЛАДІВ

Застосовуючи смугові лінії передачі, ви можете виготовити найважливіші та найпоширеніші елементи мікрохвильового обладнання, такі як аттенюатори, фіксовані навантаження, різні типи фільтрів та спрямовані відгалужувачі тощо. Смушкові вузли зручніші для масового виробництва, ніж коаксіальні та хвилеводні еквіваленти.

Таке виробництво рекомендується в наступних випадках:

- 1) необхідна велика кількість однакових елементів,
- 2) точні параметри, виготовлені для вузла з заданою характеристикою

Однією з особливостей смугового вузла є те, що створений і налаштований такий вузел, складно піддається переналаштуванню. Через те, що зміни електричних параметрів смуги визначаються точністю її виготовлення, питання технічної властивості особливо важливі і часто є основними проблемами при обробці пристроїв. Тому точність виготовлення окремих деталей пристрою, складених з окремих елементів схеми, відіграє більшу роль. У деяких випадках, особливо при одночасному виробництві напівпровідникових пристроїв, необхідно підтримувати точність мікрона.[10].

2.1. Способи виготовлення смужкових НВЧ приладів

На початку 1960-х технологічний процес, розроблений раніше для низько-частотних друкованих схем, застосовувався для виготовлення пристроїв мікрохвильової смужки. Деякі з цих процесів зберігають свою цінність у лабораторних умовах, де швидкість виготовлення тестової моделі важливіша за точність та повторюваність.

В даний час існують дві технологічні лінії для елементів пасивної мікрохвильової смуги. Один - це інший спосіб нанесення готової форми струмопровідних елементів схем на поверхню діелектрика. По-друге, спосіб видалення зайвого металу з повністю металізованого діелектрика.

Найпростіший - це метод, який називається прикладним методом. У цьому способі провідник іноді має досить складну конфігурацію, вирізаний з твердої металевої фольги і потім закріплений на діелектричній плиті. У лабораторії це можна зробити майже на будь-якому інструменті. На підприємствах вирізку може замінити штампування, що часто поєднується з процесом кріплення готового провідника до діелектричного вкладиша. Він найпростіший у застосуванні, але не забезпечує високу точність виготовлення смужок мікрохвильового пристрою. При використанні цього методу виникають труднощі, не пов'язані безпосередньо з виробництвом металевих провідників. Це перший вибір клею, який буде прилипати метал до діелектрика і не давати клею утворюватися бульбашок. Ці питання важливі, оскільки клеї не тільки повинні закріплювати метал до діелектрика, але й мають низькі втрати на високій частоті. Повітряні бульбашки в окремих частинах контуру можуть змінювати хвильовий опір смугової лінії, створювати небажані відбиття і в кінцевому рахунку погіршувати загальну продуктивність пристрою.

Усі вони визначають сферу застосування методу, але це, в основному, обмежено лабораторією. Цей метод сьогодні широко застосовується в колах низьких частот, де зміни опору хвилі в зоні кола і втрати на високій частоті не грають головної ролі.

Поширений спосіб малювати елементи схеми за допомогою електропровідної фарби або пасти. Цей спосіб простий і підходить для ланцюгів низьких частот. Придатність для виготовлення мікрохвильових пристроїв обмежена. По-перше, важко створити енергійні елементи з досить точною схемою за допомогою фарби та пасти. По-друге, у схемах, створених за допомогою пасти та фарби, втрати на 25-30% вищі, ніж у схем, створених з металом. У багатьох випадках це дуже важливо. Точність виготовлення і розмір ліній, які ще можуть бути нанесені на діелектричний лист, обумовлюються способами нанесення фарб і паст. Зазвичай для цього застосовуються спеціальні трафарети, які повинні бути надзвичайно якісними.

Є й інші способи нанесення струмопровідних елементів. Наприклад, застосовується метод розпилення металу через трафарет, але метал зазвичай застосову-

ється в рідкому вигляді. Застосовується також метод пресування металевого порошку та його вижигання на діелектрик.

Більш досконалим є метод видалення зайвого металу з попередньо металізованого діелектрика. Існують також різні варіанти процесу. Спочатку в лабораторії використовували ручне гравірування. Цей метод використовує спеціальний різець по контуру провідника для вирізання тонкої металевої фольги на всю глибину. Зазвичай небажаний метал, який легко видаляється після гравіювання, обережно відокремлюють від діелектрика. За допомогою цієї технології можна виготовляти лише мікрохвильові елементи такі як трійники та фільтри з досить хорошими параметрами. Однак цей спосіб не може бути застосований до пристроїв, які вимагають точності від 0,1 до 0,2 мм або більше під час виготовлення.

Технологія механічного гравіювання є більш технічно вдосконаленою. Оскільки для різача використовується спеціальний різець, а рука людини замінюється вершиною. Як і попередній метод, механічне гравіювання не підходить для масового виробництва і не може забезпечити високу точність. Недоліком є те, що оскільки діаметр фрези обмежений, цим методом можна отримати лише певну відстань провідник-провідник. Тому, використовуючи методи механічної гравіювання, майже неможливо створити мікрохвильові напрямні відгалуджуючі або фільтри, де відстань між окремими провідниками становить порядку десятків мікрон або менше. Слід також зазначити, що діелектрична поверхня, як у ручній та механічній гравіюванні, буде трішки пошкоджена.

Більш високоякісним методом є видалення зайвого металу з діелектричної поверхні травленням. Поверхня діелектричної підкладки залишається однаковою. Існує кілька способів хімічної гравіювання, але всі вони використовують один і той же принцип нанесення захисного покриття на ділянки схеми, які залишаються після закінчення гравіювання. Ще одна особливість цього способу полягає в тому, що він зручний для масового виробництва одних і тих же пристроїв, а також продукти з високою точністю виготовлення та складною конфігурацією радіоприймачів [11].

На сьогоднішній день найпоширенішим методом формування металевих плівок є магнетронне напилення з подальшим травленням плівки з поверхні діелектрика. Таким чином можна отримати досить рівномірну плівку заданої товщини і намалювати топології до 100 мкм.

2.2. Матеріали що використовуються при виготовленні смужкових НВЧ елементів

Діелектрики. При виробництві мікрохвильових смужок можуть бути використані матеріали, що відповідають декільком основним вимогам. Діелектрик, призначений для використання з мікрохвильовими пристроями пропускної здатності має задовольняти наступним вимогам:

- мати малі високочастотні втрати;
- досить легко оброблятися;
- бути міцним і стійким до перевантажень і ударів;
- повинен мати діелектричну постійну, яка легко піддається контролю при виробництві діелектрика;
- бути придатним для використання в фотолітографічному процесі
- не бути дефіцитним і дорогим.

Давайте докладніше розглянемо ці вимоги. Щодо втрат, то це питання не потребує особливих пояснень. Зверніть увагу, що на високих частотах електромагнітні поля зосереджені в діелектрику, що призводить до збільшення втрат. Використання смужок за допомогою мікрохвильової технології не тільки забезпечує недороге обладнання, але і зменшує габарити. Оскільки довжини хвиль смужової лінії менше, ніж довжини хвилі у вільному просторі (зменшення довжини хвилі може змінюватись для різних типів та розмірів ліній), лінійні розміри мікрохвильових пристроїв менші. З цієї точки зору бажано використовувати діелектрик, що має велике ϵ . Такі діелектрики включають, наприклад, такі матеріали, як різноманітні ситали, високий вміст Al_2O_3 , титанат барію тощо. Недоцільно використовувати такі матеріали, як фторпласт-4 або полістирол. Для зручності обробки

бажано мати матеріали, які можна легко різати, штампувати, гнути або іншим чином механічно чи іншим чином маніпулювати для зміни форми або розміру.

Однак слід зазначити, що в деяких випадках така поведінка може бути не бажаною, і матеріал може нормально протистояти деякій деформації. М'які, легко деформуються матеріали мало корисні для смугових мікрохвильових пристроїв. До цього додається ще один розгляд. Для отримання високоякісних виробів поверхня діелектричного матеріалу повинна бути оброблена та відшліфована максимально оптимально (до приблизно 12-13 класів чистоти). М'які матеріали для цього не підходять. Ми рекомендуємо використовувати більш твердий матеріал, такий як кераміка, для створення форми без обходу ще до відпалу, щоб перед відпалом можна було лише шліфувати. Матеріали, призначені для використання в мікрохвильових пристроях, не повинні бути крихкими і легко руйнуються від зовнішніх навантажень. Це дуже важлива вимога. Дотримання механічних вимог ще не означає, що діелектрик цілком підходить для використання в мікрохвильових установках.

Марно намагатися використовувати діелектричні матеріали, діелектрична проникність яких не піддається контролю в процесі виготовлення. Цей контроль може здійснюватися на основі вмісту вихідного діелектричного матеріалу, що входить до складу виробленого матеріалу, або шляхом прямого вимірювання діелектричної постійної. У всіх випадках останні необхідно контролювати [12]. Цей матеріал повинен бути придатним для використання в процесі фотолітографії як найсучаснішого в даний час. Як відомо, мікрохвильові елементи доступні у численних примірниках. Тому діелектрик повинен бути дуже дешевим і виготовлений не з рідкісної сировини. Зокрема, в технології мікрохвильової лінії передачі можна використовувати матеріали, основна інформація яких наведена в таблиці.

Табл. 2.1 – таблиця матеріалів

Матеріали	ϵ_r		$\operatorname{tg}\delta 10^4$	
	10 ГГц	25 ГГц	10 ГГц	25 ГГц
Алюміна-96	8,7	8,5	6,1	7,3
Алюміна-99	9,0	8,9	0,9	3,3
Алюміна-995	9,5	9,1	2	1
Алюміна-999	9,9	-	0,10	-
Берил-99	6,1	6,0	1	40
Берил-995	6,1	6,0	1	40
Боросилікатне скло	5,7	-	36	-
Сапфір с-осі	11,6	-	2	-
Сапфір \perp -осі	9,3	-	4	-
Полікор	9,8	-	0,8	-
Сапфірит	9,65	-	0,5	-
Ситалл СТ-38-1(ТХО.735.039)	7,25	-	2	-
Брокерит-9 (НТХО.027.023)	6,6	-	6	-

Враховуючи наведені вище вимоги, одним з найбільш підходящих матеріалів є діелектрик з порошку Al_2O_3 , суцільна керамічна плита. Цей матеріал в зарубіжній літературі називається «Алюміній-96» і був створений багатьма компаніями. Характеристики на 10 та 25 ГГц наведені в таблиці 2.1. Це вказує на те, що втрати алюміна-96 із вмістом 96% Al_2O_3 великі, а діелектрична константа - низька. Втрати алюмінію 96 майже вдвічі перевищують типовий мікрохвильовий полістирольний діелектрик, тому ці фактори не можуть визначити вибір матеріалу. Що ще важливіше, різниця в електричних параметрах (ϵ_r і $\operatorname{tg}\delta$) алюмінію-96 є ве-

ликою. Ще один фактор, що підтримує алюміній 995, - це структура матеріалу. Алюміній-995 має тонку структуру, що полегшує полірування. Обробка поверхні має великий вплив на величину втрати провідника. Це може бути набагато більше, ніж втрати діелектрика. Це пояснюється насамперед скін ефектом, по-друге, на нерівномірній поверхні діелектрика металева плівка також має неправильну та неоднорідну товщину. В результаті підвищується опір, а отже, і втрати. Цей висновок підтверджується результатами експериментів, проведених для встановлення впливу поверхневих нерівностей на втрати.

Втрати на смужковій лінії з покращеною якістю діелектричної поверхні швидко зменшуються. Тому, незважаючи на свою чудову цінність, поліровані матеріали, безумовно, відмінні.

Важливо також пам'ятати, що чим більше шорсткість поверхні, тим вище ризик руйнування шару фоторезисту. Зрештою, це може призвести до браку елементів смуги. Первісний периметр показав, що зазори з'являються, якщо шар фоторезисту, нанесений на металеву плівку, має поверхневу нерівність приблизно 0,6 мкм і більше. За рахунок зменшення нерівності до 0,25 мкм ризик такого розриву майже повністю усувається. Однак шар фоторезисту в цьому випадку залишається неоднаковим по товщині. Тому поверхня повинна бути відполірована, щоб зменшити нерівномірність до значення 0,04 мкм. Найкращі результати отримують при нерівномірності поверхні 0,04-0,05 мкм. Подальше зниження нерівномірності поверхні може бути небажаним через високі витрати на виготовлення та низьку адгезію металу до діелектрика. Однак для конструкторської частини, подібний за розміром до матеріалу алюміній-96, використовується для доступності та низької вартості для подальшого проектування в лабораторних умовах [12].

Метали. В принципі, метали (мідь, золото, срібло) дуже часто використовують як електропровідні покриття. У деяких випадках можуть використовуватися інші метали (алюміній, нікель тощо). Зокрема, нікелева фольга використовується у виробництві мікрохвильових смуг, призначених для використання у суворих кліматичних умовах.

Товщина провідного шару повинна в кілька разів перевищувати товщину скін-шару, яка на НВЧ порядку одного мікрона.

Тому товщина металевої плівки повинна бути в межах 4-6-8 мкм. Кращі метали для смугових мікрохвильових елементів з точки зору втрат - мідь та срібло. Однак, враховуючи вартість, міді слід віддавати пріоритет.

Після того, як мідь буде нанесена на поверхню діелектрика, слід нанести, початковий шар металу. Останній, зазвичай його називають хромом, має дуже високу адгезію до алюмінію та відмінну стійкість до корозії. Хром осаджується тонким шаром і наноситься на мідний провідний шар [13].

Зауважте, що матеріали, які використовуються для виготовлення смугової збірки, потребують ретельного попереднього ретельного очищення (це стосується як діелектрика, так і металу, що застосовується).

Висновки по розділу

При виготовленні приладів на основі мікросмушкових ліній необхідно, обираючи матеріал треба врахувати наступні вимоги:

- висока термостабільність;
- механічно міцність;
- низькі діелектричні втрати.

3 Фільтри на основі смужкових ліній

3.1. Типи фільтрів НВЧ, їх призначення, характеристики

Фільтри називають пристроями, придатними для передачі хвиль на одних частотах і подавлення хвиль на інших частотах. Фільтри є одним з ключових елементів мікрохвильових пристроїв. Вони широко використовуються в багатоканальних перетворювачах ліній зв'язку або помножувачів частоти для розділення та редагування сигналів різної частоти. Вони використовуються для обмеження спектру випромінювання сильних передавачів та запобігання перешкод приймача сигналів за межами діапазону робочої частоти, широкосмужковому узгодженню імпедансів ліній з різним опором хвилі.

Фільтруючі характеристики фільтра можна охарактеризувати його загасанням, що вносяться в тракт. При цьому смугу частот з невеликим загасанням називають смугою пропускання, а смугу частот з великим загасанням – смугою загородження. З урахуванням вище сказаного була прийнята така класифікація фільтрів:

(Рис.3.1): фільтри нижніх частот (ФНЧ), щоб забезпечити проходження нижніх частот НВЧ діапазону;

фільтри верхніх частот (ФВЧ), пропускають високі частоти; смугопропускні (СПФ), і смугозагороджувальні фільтри

(СЗФ), які відповідно пропускають або пригнічують необхідну смугу частот [14].

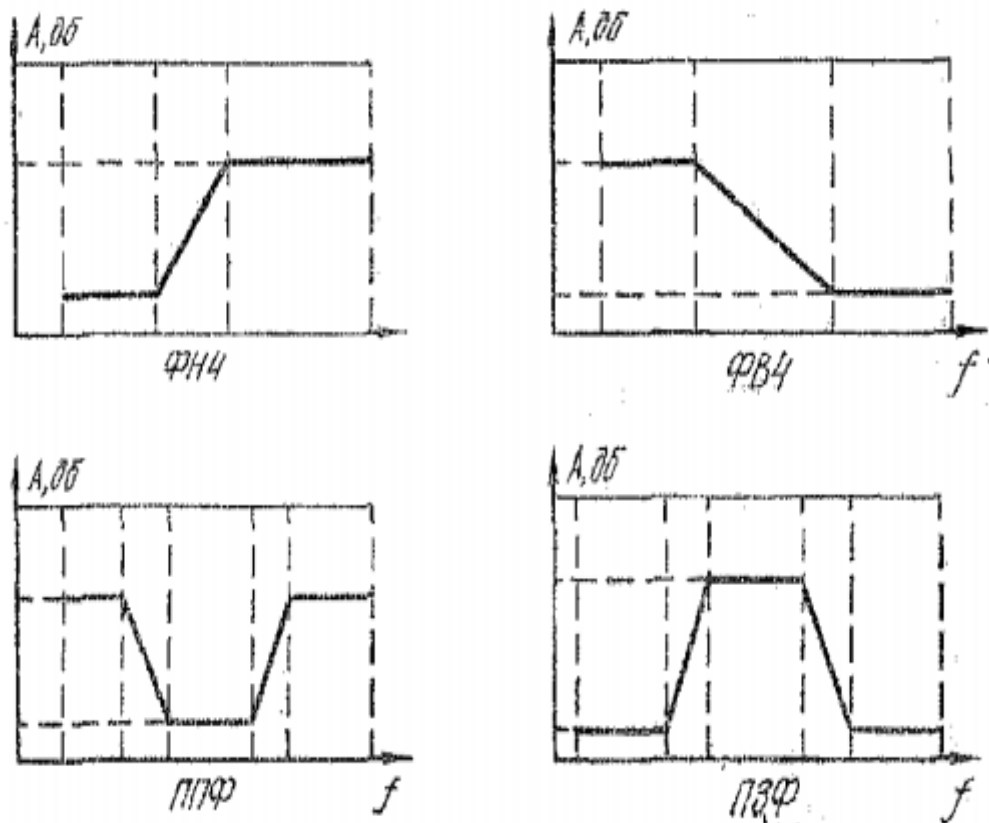


Рисунок 3.1 – Класифікація фільтрів [12]

Крім того, кожен фільтр має перехідну область, яка з'єднує загородження та пропускну здатність передачі. Це область, де загасання змінюється від мінімального до максимального і визначається крутизною характеристики. Зазвичай ми намагаємося мінімізувати цю область, але реалізувати фільтр може бути важко.

На рис. 3.1 наведені типові характеристики фільтрів. При конструюванні фільтрів задають такі характеристики:

- 1) смуга пропускання;
- 2) максимальне загасання в смузі пропускання;
- 3) фільтр, що тримає смугу. Зазвичай область обмежується заданою частотою, де рівень загасання повинен бути принаймні заданим значенням.
- 4) мінімальний рівень загасання в смузі затримування;

3.2. Основні структури і фізичні основи роботи фільтрів

Виконання завдання фільтрації, тобто розділення або обмеження часу та розміру ділянки, може виконуватися в НВЧ різними способами. Найпоширеніший мікрохвильовий ланцюг - це схема, яка пропускає відфільтровану хвилю по одному шляху, але з різним ступенем заломлення (рис. 3.2а). Характеристика фільтруючого кола вибирають так, щоб хвилі з частотами, що входять в смугу пропускання фільтра, поширювалися в колі з найменш можливим шунтуванням їх паралельними гілками (1—1'; 2 — 2'; 3—3') і найменшим згасанням в елементах послідовних ланцюгів і передавалися від джерела коливань (А—А') до навантаження (Б—Б') з малим загасанням [15].

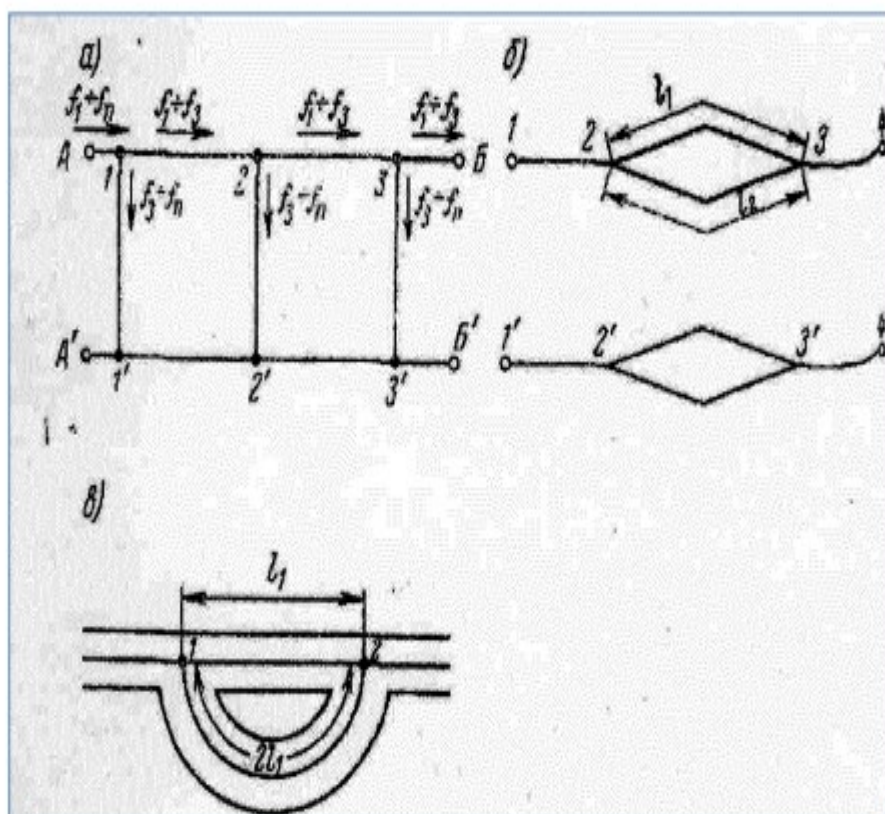


Рис. 3.2 Фільтри, виконані по мікросмужковій технології [15].

Електричне коливання частоти, включеної у фазу затримки фільтра, максимально переміщується паралельною гілкою і поширюється з великим ослабленням від перетину (А - А) до навантаження (В - В).

Високочастотна коливальна фільтрація може бути реалізована шляхом інтерференції фільтрованих коливань. У цьому випадку сигнал надсилається на приймач декількома способами.

Якщо сигнал надходить у точку прийому (3-3 'на рис. 3.2, б) з протилежною фазою ($\Delta\varphi = 180^\circ$), компонент сигналу віднімається. Загальний ($\Delta\varphi = 0$) після прибуття фази. Величина загасання, що надається фільтром, залежить від співвідношення фаз коливань, що генеруються в різних джерелах. Фаза коливань, що досягає точки збирання 3-3, може змінюватися, якщо змінюється один або обидва джерела. Діаграма відрізка, що міститься між точками 2-3 (рис. 3.2б).

На рис 3.2 показано СЗФ на сегменті лінії передачі [15]. Відстань вибирається рівним $1/4$ довжини хвилі нижнього відсічного фільтра. Максимальне ослаблення, введене таким фільтром, - це частота, з якою коливання досягають точки 2 в антифазі, тобто довжина електричного шляху відрізка лінії передачі від точки 1 до точки 2 дорівнює довжині хвилі та половині довжини хвилі відповідно. Якщо ви отримаєте це. Така схема може бути використана для створення фільтра мікрохвильового моста. Вищеописані два способи побудови схеми фільтра також є характеристиками фільтра низьких частот.

Схеми мікрохвильового фільтра можна отримати незвичним для низько-частотних ланцюгів, наприклад, використовуючи діелектрики з різними значеннями загасання на різних частотах. Таким матеріалом може бути намагнічений ферит (коаксіальний або смуговий), розміщений у сегменті лінії електропередачі. Пропускна здатність такого фільтра створюється резонансною областю поглинання електромагнітних хвиль намагніченим феритом. Зменшення ослаблення пропускної здатності фільтра досягається шляхом відповідності шляху до сегмента лінії, що містить ферит. Зазвичай вибирається кут розміщення феритової плити (або циліндра) і розміщуються елементи вирівнювання (штифти, гвинти тощо).

Один із способів заглушити більш високі типи хвиль в лінії електропередачі - це вибрати конкретний розмір для лінії електропередачі [16].

3.3 Принципи керування фільтрами на базі смужкових ліній

В НВЧ фільтрах побудованих на основі смужкових ліній можна змінити частотні та фазові характеристики.

Для досягнення поставлених змін можна здійснювати наступне:

- 1) розміри смужкових ліній,
- 2) діелектричну проникність підкладки,
- 3) розташування пластин з металу відносно підкладки,
- 4) змінювати включення компонентів в схему тощо.

Для досягнення мети поставленої задачі треба обрати рішення:

- 1) надійне
- 2) просте у виготовленні
- 3) просте в експлуатації

Цим пунктам відповідає метод зміни довжини хвилі резонаторів між значеннями $\lambda/4$ та $\lambda/2$ шляхом створення короткого замикання і холостого ходу між смужками резонаторів та металізацією на тильній стороні підкладки [17].

Даний метод має бути виконаний шляхом електричного керування, щоб задовольняти умовам невеликих габаритів, надійності та керованості системи.

3.4 Схеми керування фільтрами на базі смужкових ліній

Схема управління вмикається (показано на рис. 3.3) так, щоб зробити режим короткого замикання і холостого ходу між резонаторами та металізацією на зворотній стороні підкладки [18].

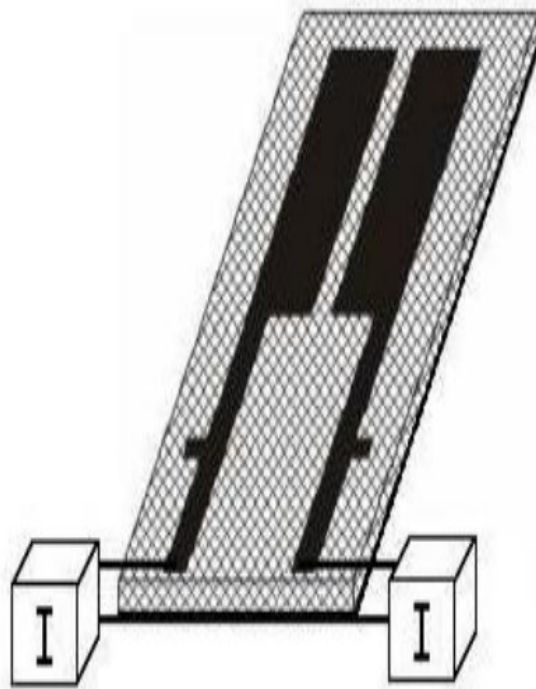


Рис 3.3 – конструкція дворезонаторного фільтра з включеним блоком управління [6]

Схема управління може бути виконана за допомогою підключення діоду. В такому випадку, для створення короткого замикання треба подати напругу на підкладку. Даний спосіб не є зручним через погану гальванічну розв'язку та додаткового паразитного впливу напруги на металізацію на зворотній стороні підкладки.

Тому кращим способом керування, для досягнення поставленої мети буде використання однокаскадного транзисторного підсилювача на рис.2.4 [18].

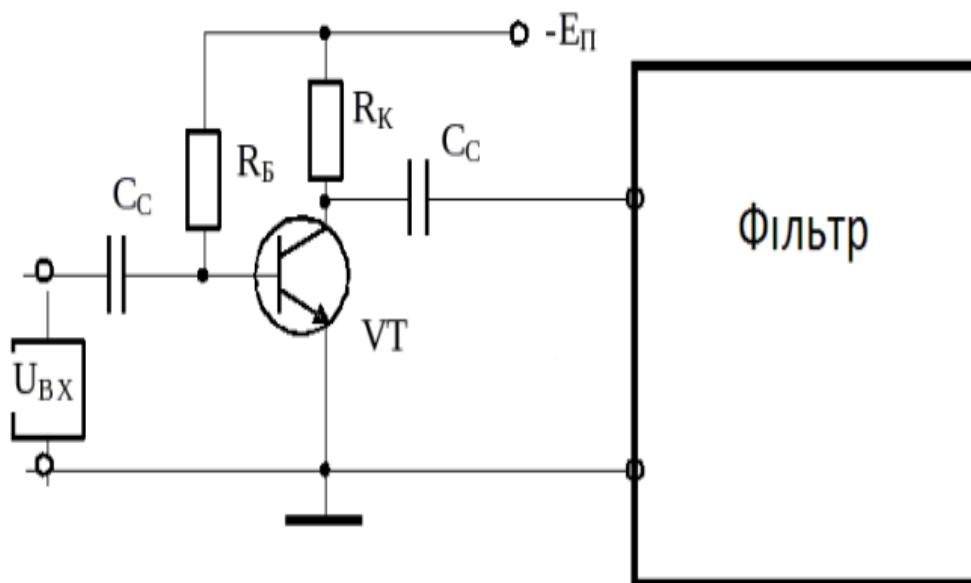


Рис 3.4 – Електрична принципова схема керування фільтром[8]

3.5. Способи керування характеристиками фільтрів на основі мікросмужкових ліній

Існує декілька методів керування характеристиками частотно-селективних структур [26]:

- 1) Керування ємністю за допомогою електричного поля;
- 2) Керування діелектричною проникністю за допомогою електричного поля;
- 3) Керування ефективною проникністю системи через зміни її геометричних розмірів (наприклад, зміни розташування компонентів структури за допомогою електромеханічних перетворювачів);
- 4) Оптичне керування діелектричною проникністю;
- 5) Керування магнітною проникністю при допомозі магнітного поля;
- 6) Комбінація магнітного і електричного управління;

7) Керування опором матеріалу через електричне поле, освітлення і тощо.

Кожен зі способів, вказаних вище, має свої недоліки та переваги. Наприклад, для керування діелектричною проникністю через електричне поле треба мати джерело сильних полів, а також даний спосіб понесе великі втрати.

Управління ємністю дає змогу керувати частотою резонансу в широкому діапазоні, зменшуючи при цьому добротність.

Системи з магнітним управлінням являють собою великі масогабаритні показники. Для керування частотою резонансу фільтрів існують два способи:

1) управління ефективною діелектричною проникністю системи за рахунок зміни її геометричних параметрів;

2) управління опором матеріалу за допомогою освітлення і електричного поля.

Для реалізації керування ефективною діелектричною проникністю системи за рахунок зміни її геометричних параметрів була розроблена схема фільтра, яка складається з двох резонаторів[35], аналогічна представленій на рис. 3.4.

Переріз такого фільтра показано на рис.3.5

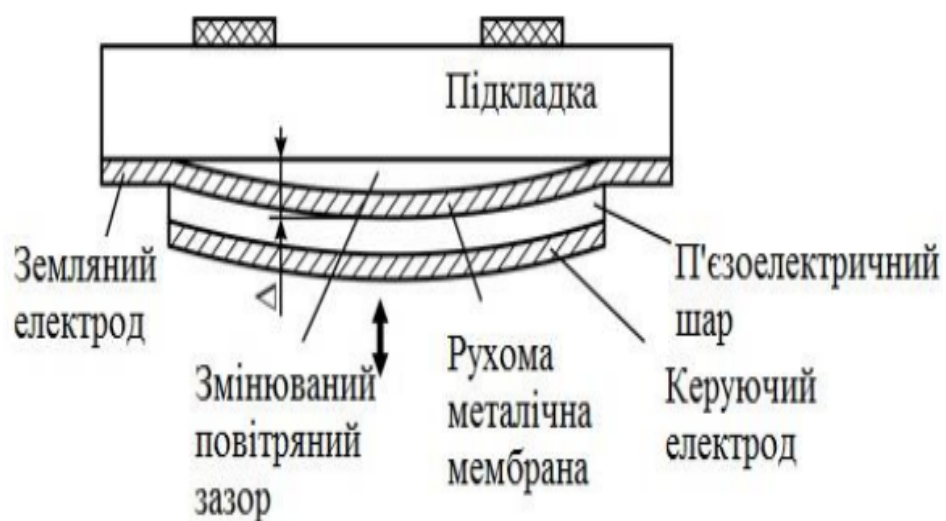


Рисунок 3.5 – Боковий вигляд конструкції фільтра на основі неоднорідної мікросмужкової лінії передачі з електромеханічним керуванням

Управління здійснюється за допомогою зміни ширини зазору між підкладкою і земним провідником. Така неоднорідність (зазор) перериває силові лінії електричного поля системи, що приводить його до сильного зміщення. Як наслідок, з'являється сильне зміщення частоти резонансу системи навіть при малих змінах ширини повітряного зазору. На рис.3.5 показана АЧХ даного фільтра. Зміщення металеві мембрани здійснюється за допомогою п'єзоелектричного актюатора.

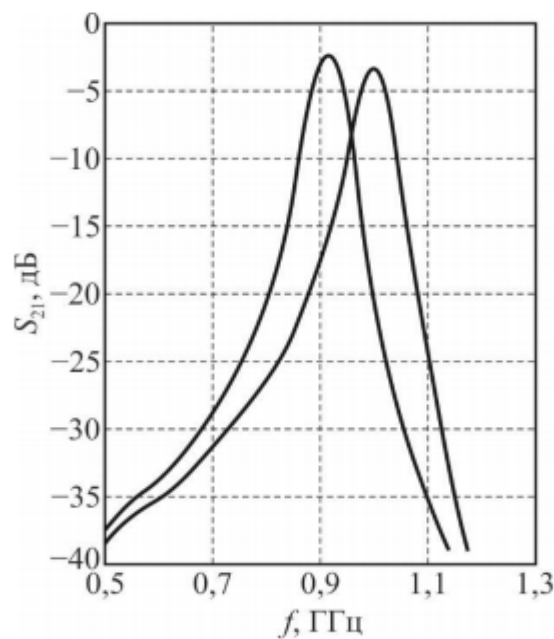


Рис 3.6 – АЧХ фільтра на основі неоднорідної мікросмужкової лінії передачі з електромеханічним керуванням

До переваг даного способу керування можна віднести змогу плавної зміни частоти резонансу фільтра. Проте є і недоліки :

- порівняно низька швидкодія
- висока керуюча напруга.

В наш час інтерес у всьому світі викликає управління за допомогою оптики[19,20]. Це обумовлено тим, що дані системи мають високу швидкодію, стійкі до НВЧ шумів, просто інтегруються з волоконно–оптичними мережами і приладами обробки інформації.

Оптичне керування було здійснено за рахунок зміни рухливості носіїв заряду в залежності від освітлення напівпровідникової GaAs підкладки. За нормальних умов без освітлення в НВЧ діапазоні власні напівпровідники (Si і GaAs) мають низький рівень втрат [21, 27].



Рисунок 3.6 – Схематичне зображення конструкції робочого макета фільтра на основі неоднорідних мікросмужкових ліній на підкладці з високоомного GaAs

Висновки по розділу

З даного розділу можна винести наступне, а саме що для керування НВЧ фільтрів на основі мікросмужкових ліній може бути здійснене наступним чином:

- керування зміною діелектричною проникністю;
- керування за допомогою світла;
- електромеханічне керування.

4. ФАЗООБЕРТАЧІ

Фазообертач – це прилад, який використовують для керування фазою електромагнітних коливань на виході лінії передачі НВЧ відносно до фази на її вході, що здійснюється за при зміни довжини цієї лінії.

Фазообертачі використовуються для зміни форми вхідного сигналу, компенсації фазових спотворень, фазової модуляції, вирівнювання електричних довжин ліній передач, створення заданих фазових зсувів сигналів у когерентних радіосистемах (наприклад, в фазованих антенних решітках) та інше. Фазообертачі знайшли широке використання в НВЧ техніці, наприклад, в системах де є велика кількість споживачів - для забезпечення необхідного розподілу початкових фаз сигналів, які до них надходять, в лініях передач радіосистем – для вирівнювання електричних довжин цих ліній, в фазованих антенних решітках – для формування заданої діаграми спрямованості та інших когерентних радіосистемах.

4.1 Різновиди фазообертачів

Одним з найголовнішим параметром і характеристикою фазообертача є потужність втрат і керування, швидкодія, гранично допустима робоча смуга частот, залежність фазового зсуву від керуючого впливу, геометричні характеристики і ціна. Хвилеводне, коаксіальне, смугове, мікросмугове виконання ФО визначається вибором не тільки фідерного тракту, а й типу випромінювача. У діапазоні НВЧ знайшли широке застосування напівпровідникові і ферритові фазообертачі, які прийнято розподіляти на декілька груп. Серед них виділяють прохідні і відбиваючі, взаємні і не взаємні, дискретні та плавні, з пам'яттю фазового зсуву і без запам'ятовування [25]. Прокідний фазообертач – це чотирьохполосний узгоджений пристрій, який дає фазовий зсув від 0 до 360 °. Фазовий зсув при цьому керується

керуючим сигналом. Відбиваючий фазообертач – це двополіусний пристрій у якого фаза відбитої хвилі керована.

Якщо вихідний термінал фазового зміщення має закриті положення, він змінюється на відображення. Зворотні фазові свічі забезпечують однаковий зсув фази в прямому і зворотному напрямках поширення електромагнітної хвилі.

Як правило, він використовує в електрично керованому середовищі невзаємний ефект, наприклад ефект Фарадея в фериті. Взаємний відбиваючий фазообертач з Y-циркулятором створює прохідний фазообертач. Напівпровідникові та феритові дискретні фазообертачі мають елемент пам'яті, тобто зберігають фазовий зсув після відключення керуючого впливу.

Аналогові фазообертачі з плавною зміною фази від керуючого сигналу можуть мати дискретність фазування, коли система керування промінем антени пов'язана з ЕОМ. До теперішнього часу розроблені ФО на різних рівнях потужності, робочі діапазони і розрядності.

Феритові ФО на довжинах хвиль коротше 5 см можуть володіти меншими втратами, ніж напівпровідникові, що мають більшу швидкодію і менші масу і габарити. Збільшення розрядності призводить до додаткових втрат, більшої вартості і збільшення потужності управління [26].

Реалізуються ФО на механічному принципі, на основі діелектриків або феритів, на основі PIN-діодів та ін. За принципом зміни фазового зсуву під дією зовнішнього сигналу ФО діляться на дві групи [27]:

1) аналогові, фазовий зсув в яких є безперервною функцією керуючого сигналу (напруги або струму);

2) цифрові (дискретні), фазовий зсув в яких задається двійковим кодом:

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2^{Q-1}} \sum_{k=0}^{Q-1} a_k \cdot 2^k \quad (4.1)$$

В аналогових ФО фазовий зсув змінюється під зовнішнім впливом на магнітну або діелектричну проникність матеріалу. Таким матеріалом може служити ферит або сегнетоелектрик.

Дискретність фаз вписується в структуру команд керуючої ЕОМ, але іноді призводить до деяких помилок в завданні координат променя антени і незначного збільшення рівня бічних пелюсток її діаграми спрямованості, якими, як правило, можна знехтувати.

Основним елементом дискретного ФО є діодний або транзисторний ключ. Використання напівпровідникових приладів в таких схемах засновано на тому, що вони можуть мати два різних стани - в одному струм крізь них не йде, в іншому проходить. Час перемикання напівпровідникових приладів залежить від потужності керованого сигналу і знаходиться в межах 0,05-5 мкс.

4.2. Особливості конструкції фазообертачів.

Конструкція фазообертача залежить від частотного діапазону, в якому призначене зміщення. У низькому та радіочастотному діапазоні (до декількох МГц) в якості фазообертача використовується 4-полосний, що складається з резисторів, індукторів та конденсаторів.

Простий фазообертач - фазозсувна ланка. Даний фазообертач в більшості випадків використовують для забезпечення фіксованого фазового зсуву в межах від 0 до 90. У фазозсувних комірках з зосередженими параметрами зміщення фаз забезпечується дією реактивних елементів, з розподіленими параметрами.

Досконаліші фазообертачі, створені за схемою з трьох резисторів і одного конденсатора, які створюють керований зсув фаз в межах від 0 до 180. Застосовуються також транзисторні (або лампові) мостові фазообертачі, до складу яких входить пристрій, що перетворює вхідну напругу в дві напруги, зсунуті по фазі на 180° [28].

У дециметровому діапазоні застосовують НВЧ фазообертачі, створені на основі відрізків НВЧ ліній передачі, фазовий зсув яких здійснюють за допомогою зміни довжини лінії. НВЧ фазообертачі бувають регульовані і нерегульовані

Розсунні фазообертачі [28–29]:

- Хвилеводні діелектричні НВЧ фазообертачі – хвилеводний відрізок, який містить переміщувану пластину з діелектрика; керування зсувом фази в даному фазообертачі реалізоване на зміні фазової швидкості хвилі і зміна положення пластини в хвилеводі;

- Стисна секція – хвилеводний відрізок з вузькими стінками які забезпечені пружними підвісками, які в свою чергу мають змогу змінювати ширину хвилеводу;

- Мостовий НВЧ фазообертач – багатоплечевий пристрій (коаксіальний або хвилеводний), складається з двох узгоджено змінюваних по довжині короткозамкненими відрізками лінії передачі (шлейфами), які вмикаються в основну лінію, за якою здійснюється енергопередача НВЧ сигналу від генератора до навантаження, послідовно з навантаженням або паралельно йому;

- Фазообертачі з напівпровідниковими елементами (такими, як напівпровідникові діоди з р-п-структурою, варикапи), пристроями з фериту, сегнетоелектриками, плазмові. Перспективні НВЧ фазообертачі на р-п-діодах, використовуваних як комутаційні елементи.

- Діоди дають змогу змінювати фазовий зсув східчасто за ри допомозі або прямої зміни, або підключенням до лінії (через діоди) набору шлейфів.

Широко використовуються також феритові фазообертачі, робота яких обумовлена на використанні ефекту Фарадея на НВЧ та явища феромагнітного резонансу в намагніченому фериті.

Феритові фазообертачі діляться на взаємні, які забезпечують однаковий фазовий зсув для обох напрямків поширення хвилі, і невзаємні, в яких фазовий зсув неоднаковий для хвиль, які поширюються в протилежних напрямках.

Нерегульований фазообертач реалізують у вигляді каліброваного по фазі відрізка лінії передачі, фазовий зсув в якому досягається підбором значення його

довжини, розмірів поперечного перерізу (при використанні хвилеводу) або ефективної діелектричної проникності.

4.3. Параметри фазообертачів.

Серед основних параметрів фазообертачів виділяють [30]:

Діапазон робочих частот. Так як фазообертачі мають змогу працювати на різних частотах, та в різних пристроях, то при виборі конкретної моделі необхідно відштовхуватись від заданої мети.

Максимально зсув фаз, яким можна керувати. Сенс керованого фазообертача є реалізація управління частотою. Тому однією з найважливіших характеристик можна виділити максимально керуємий фазовий зсув.

Потужність втрат. Фазообертачі більш за все за усе виступають в складовій пристрою, або приладу. Тому їх продуктивність збільшується при зниженні втрат за потужністю.

Швидкодія. Швидкість майже завжди є однією з важливіших характеристик при виборі складових приладів. Так як швидкість кожної зі складових впливає на швидкість процесу або приладу в цілому.

Коефіцієнт стоячої хвилі. Співвідношення значень напруженості електричного поля у максимумі і мінімумі стоячої хвилі. 40

Габарити. В зв'язку з прямуванням новітніх технологій до мінімізацій приладів, без втрат їх функціональності, зазвичай обирають складові з меншими габаритами.

Вартість. Ще однією не мало важливою характеристикою фазообертачів є ціна. Оскільки вона є показником для виробників. Чи є доцільним використовувати саме цю модель, а не яку-небудь іншу.

4.4. Конструкція фазообертача на основі мікросмушкових ліній із ступінчастою неоднорідністю.

Розглянемо чвертьхвильовий резонатор із ступінчастою неоднорідністю, який складається з двох відрізків мікросмушкової лінії, які з'єднані послідовно [31- 34](рис.3.6.1).

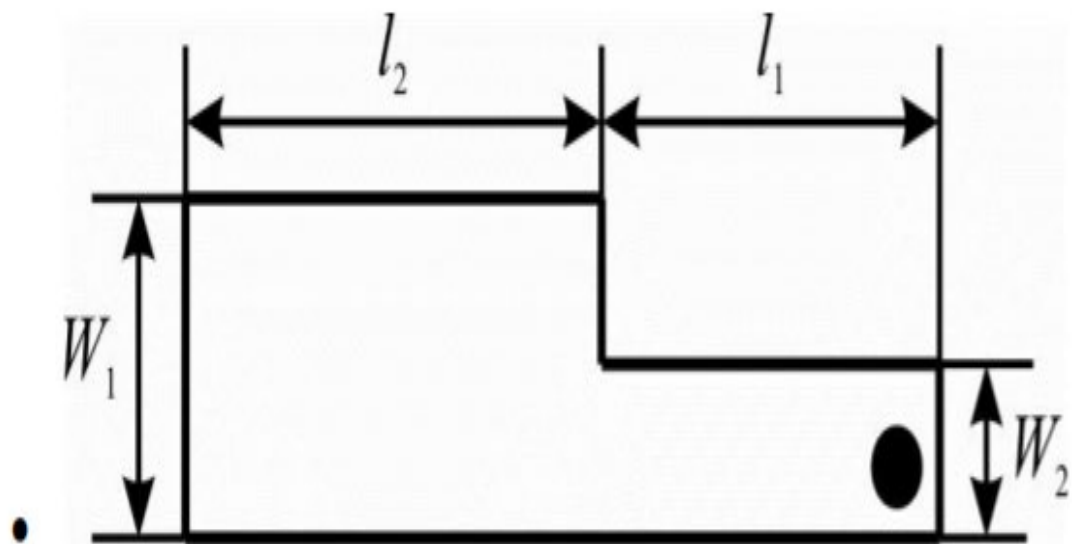


Рисунок 4.1 – Мікросмушковий резонатор зі ступінчастою неоднорідністю[7]

Відрізки мають різний хвильовий опір. Таким чином, на границі між двома відрізками хвильовий опір лінії змінюється стрибкоподібно. Відрізок з великим хвильовим опором з'єднаний з підкладкою (місце з'єднання позначено на рис. 4. чорним колом). У цьому випадку вхідний опір резонатора можна розрахувати співвідношенням [35]:

$$Z_{in0} = Z_{w2} \frac{j(Z_{w1} \operatorname{tg}(\beta l_1) + Z_{w2} \operatorname{tg}(\beta l_2))}{Z_{w2} - Z_{w1} \operatorname{tg}(\beta l_1) \operatorname{tg}(\beta l_2)} \quad (4.1)$$

де Z_{w1} – хвильовий опір широкого проміжку,

Z_{w2} – хвильовий опір вузького проміжку,

l_1 – довжина широкого проміжку,

l_2 – довжина вузького проміжку.

Використовуючи граничні умови на кінцях резонатора, можемо визначити хвильові числа і частоту резонансу даної системи. Похибка розрахунку не більша 2 ... 4% в широкому діапазоні співвідношень розмірів l_1/l_2 і W_2/W_1 [31].

Дослідження теорії показали перспективність побудови таких резонаторів для створення простих двухзвенних фазообертачів (рис.4.4.2), а також фазообертачів з параметрами яких можна керувати [34]. Параметри таких фазообертачів залежать від характеристик резонаторів, і від коефіцієнтів зв'язку (ємнісного k_C і індуктивного k_L) між ними.

Використовуючи методику в [24] можна розрахувати коефіцієнт зв'язку. Такий підхід дуже зручний так як дає змогу сформулювати необхідну характеристику фазообертача, а також отримати обґрунтування залежності характеристик з теоритичної точки зору, фазообертачів від коефіцієнтів зв'язку між резонаторами. Коефіцієнт зв'язку може бути розрахований за зсувом частоти резонансу зв'язаного і незв'язаного резонатора:

$$k = \pm \left(\frac{f_{02}}{f_{02}} + \frac{f_{01}}{f_{01}} \right) \sqrt{\left(\frac{f_{p2}^2 - f_{p1}^2}{f_{p2}^2 + f_{p1}^2} \right)^2 - \left(\frac{f_{02}^2 - f_{01}^2}{f_{02}^2 + f_{01}^2} \right)^2} \quad (4.2)$$

де f_{01} і f_{02} – власні резонансні частоти резонаторів,

f_{p1} і f_{p2} – резонансні частоти зв'язаних резонаторів.

Якщо резонансні частоти резонаторів збігаються, то даний вираз спрощується:

$$k = \pm \frac{k_L + k_C}{1 + k_L k_C} = \frac{f_{p2}^2 - f_{p1}^2}{f_{p2}^2 + f_{p1}^2} \quad (4.3)$$

де k_L – коефіцієнт зв'язку індуктивностей,

k_C – коефіцієнт зв'язку ємностей.

Висновки по розділу

Роглянуто, що за допомогою фільтра на основі мікросмужкових ліній, також можна керувати фазою.

Були визначені основні параметри фазообертачів:

- діапазон робочих частот;
- максимально зсув фаз, яким можна керувати;
- потужність втрат;
- швидкодія.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРА НА ОСНОВІ НЕОДНОРІДНИХ ВІДРІЗКІВ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ

5.1. Теоретичне дослідження та розрахунок обраної конструкції керованого фільтра на основі мікросмужкових ліній

$W_1 = 4$ мм – ширина широкої ділянки;

$W_2 = 1,7$ мм – ширина вузької ділянки;

$L_1 = 1,2$ мм – ширина лінії передачі з опором 50 Ом;

$L_2 = 13$ мм – довжина вузької ділянки;

$L_3 = 10$ мм – довжина широкої ділянки;

$S = 0,3$ мм – зазор між широкими ділянками;

$H_{\text{під}} = 2$ мм – товщина підкладки.



Рис 5.1.— досліджуваний зразок

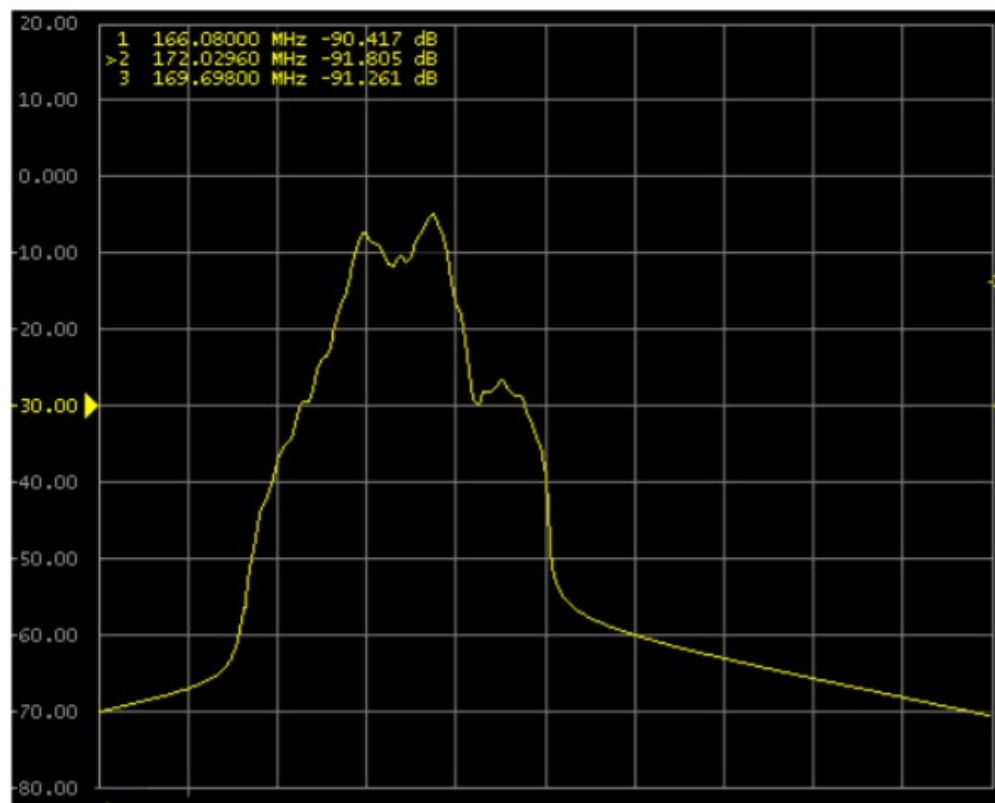


Рис 5.2 – АЧХ фільтру при зазорі 0 мкм.

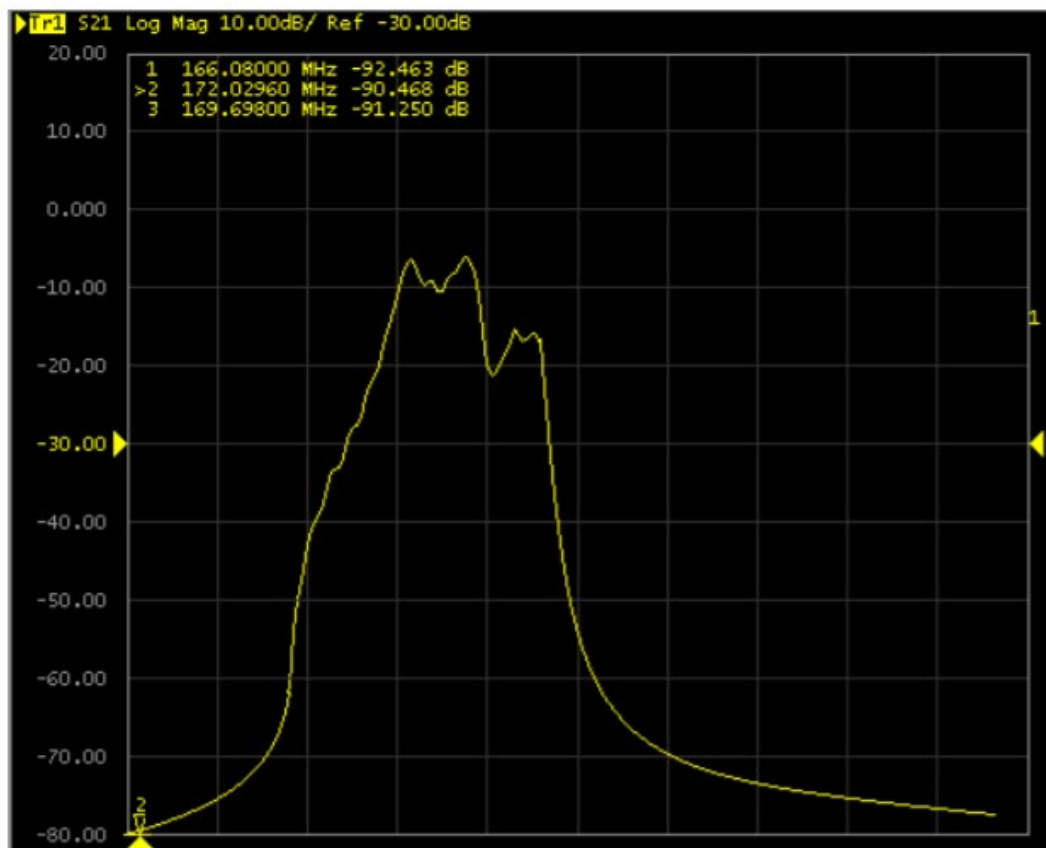


Рис 5.3 – АЧХ фільтру при зазорі 5 мкм.

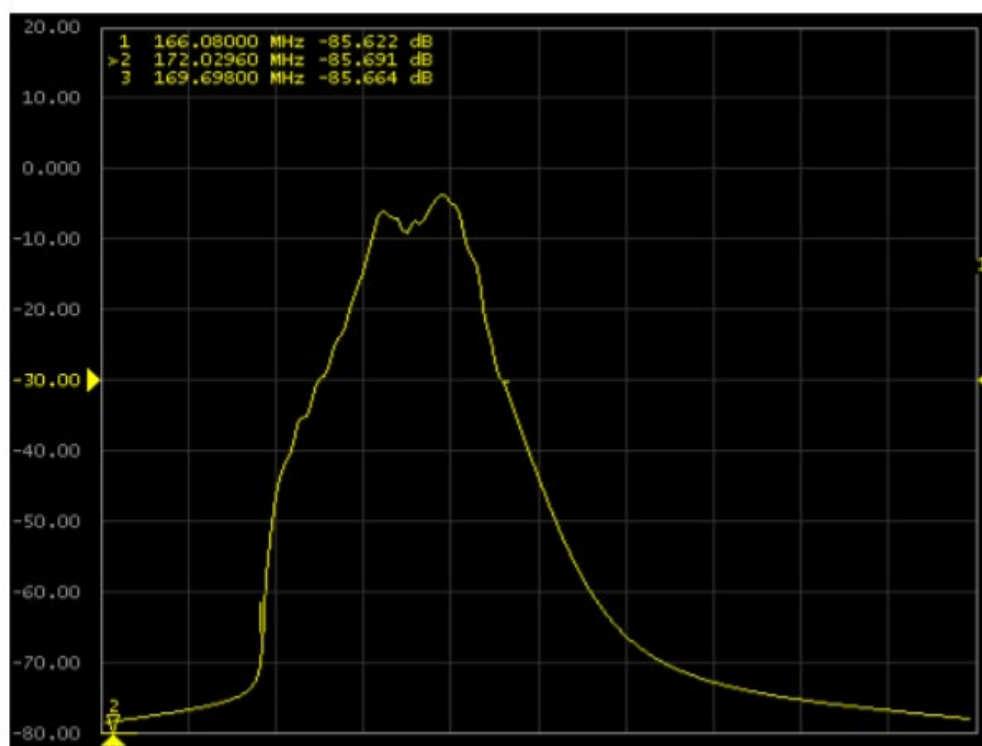


Рис 5.4 – АЧХ фільтру при зазорі 10 мкм.

Даний зразок був досліджений на частотах від 1 ГГц до 4 ГГц, ширина зазору змінювалась від 0 мм до 45 мм, як видно з залежності (рис 5.4) при ширині зазору 30 мм відбувається насичення, отже подальше збільшення цього параметру не призведе ніяких змін. В таблиці показані експериментальні значення залежності резонансної частоти від ширини зазору.

Форма АЧХ практично не змінюється в діапазоні перебудови. Однак ефективна перебудова відбувається при зміні зазору від 0 до 50 мкм. Зміщення середньої частоти фільтра відбувається за тим же законом, що і зміна фази (Рис. 5.3.3). Зворотні втрати так само не змінюються, тобто КСХ (коефіцієнт стоячої

хвилі) залишається на одному рівні. Прямі втрати навіть в експериментальному зразку досить малі і незначно зростають зі зменшенням зазору.

D, мкм	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
F, МГц	2796	3007	3218	3300	3400	3700	3770	3700	3710	3710

Табл 5.1 – залежність резонансної частоти від ширини зазору.

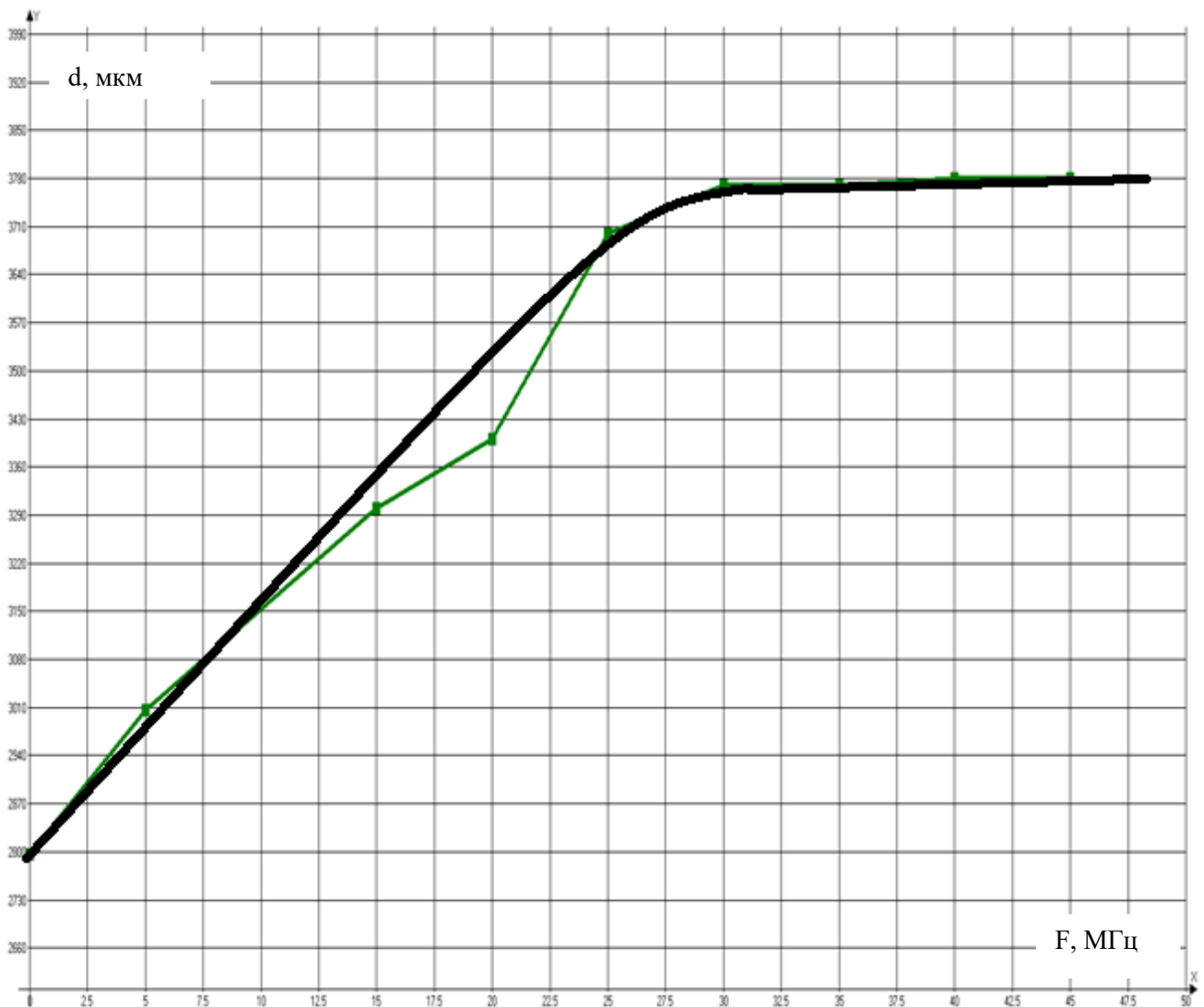


Рис 5.5 – залежність резонансної частоти від зазору.

Можна зробити висновок, що зі зменшенням, або збільшення зазору провідною пластиною, можна керувати характеристиками фільтру.

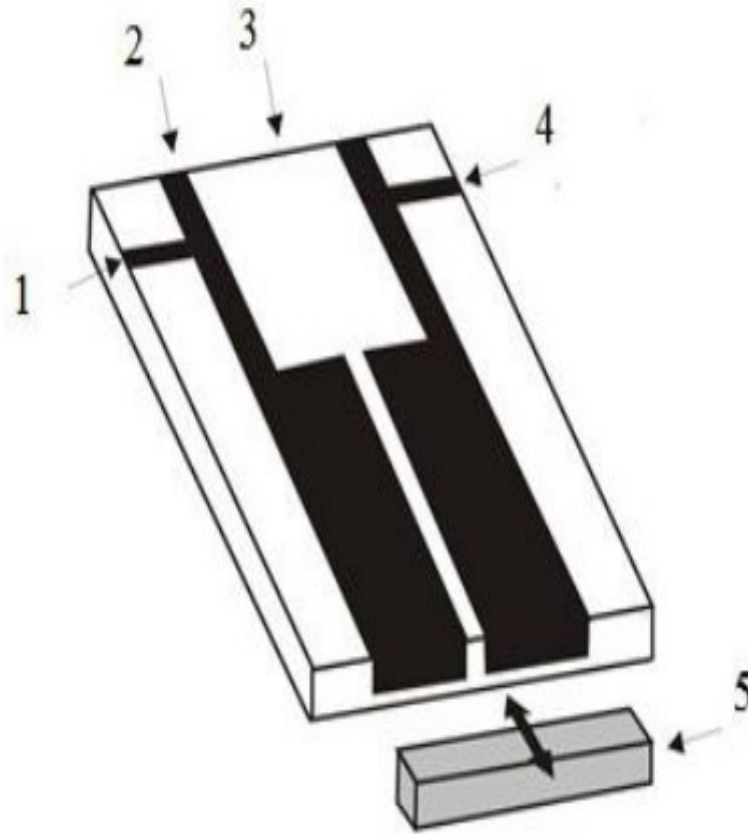


Рисунок 5.6 – Зображення схеми керування фільтра за допомогою провідникової пластини[9]:

- 1 – вхід електромагнітної хвилі;
- 2 – мікросмужкова лінія;
- 3 – діелектрична підкладка;
- 4 – вихід електромагнітної хвилі;
- 5 – збурюючий елемент

За способом управління фазою фільтри діляться на аналогові і дискретні. Для тих і інших використовуються різні керуючі елементи. У разі електромехані-

чного управління, один і той же керуючий елемент може забезпечити як аналоговий, так і дискретний режим роботи.

Конструкції фільтрів на ферромагнетиках, керовані магнітним полем, надто інерційні. Швидкодіючі фазообертачі на сегнетоелектричних плівках мають недостатній діапазон управління фазою і високі втрати. Пристрої, в яких фаза НВЧ сигналу регулюється напівпровідниковими елементами: або р-і-п діодами, або варакторами, відрізняються високими характеристиками, і в мікросмужковому виконанні вони мініатюрні, технологічні у виробництві, прості в налаштуванні .

Але існує проблема створення фазообертачів в міліметровому діапазоні довжин хвиль, де для пристроїв на ферромагнетиках необхідні неприйнятно великі магнітні поля для управління, а для напівпровідникових елементів необхідні характеристики поки недосяжні.

Тому це актуально. Запропонована і розроблена конструкція фільтра – це конструкція на основі керованого планарного фільтра;

Її переваги :

а) регулювання зсуву фази в більших межах, в порівнянні з "нерезонансною" конструкцією, виготовленою на відрізку узгодженої з трактом лінії передачі.

б) в "резонансному" фазообертачі в робочій смузі частот заданий максимальний рівень потужності не змінюється при зміні діелектричної проникності, так як при цьому відповідну зміну резонансних частот мікросмужкових резонаторів практично не руйнує балансу зв'язків між ними.

Для підтвердження вищесказаного можна порівняти керований зсув фази $\varphi = \arctg\left(\frac{1}{Q} \frac{\omega / \omega_0}{1 - (\omega / \omega_0)^2}\right)$ відрізка мікросмужкової лінії передачі довжиною l в умовах резонансу і в 57 узгодженому режимі. Відомо [23], що частотна залежність фази в резонансі визначається формулою:

де Q – добротність резонансу,

ω_0 – резонансна частота, виражена через довжину відрізка,

c – швидкість світла у вакуумі;

ε – ефективна діелектрична проникність підкладки.

Величина керованого зсуву фази буде визначатися похідною:

$$(5,2) \quad \frac{d\varphi}{d\varepsilon} = \frac{Q\omega}{2\omega_0\sqrt{\varepsilon}} \times \frac{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}{Q^2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 \sqrt{\varepsilon} + \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \sqrt{\varepsilon}}$$

Так як поблизу резонансу $\omega \approx \omega_0$, то:

$$(5,3) \quad \frac{d\varphi}{d\varepsilon} \approx \frac{Q}{\varepsilon}$$

У разі узгодженого відрізка МСЛ такої ж довжини і зрушення фази сигналу що пройшов, дорівнює його електричній довжині:

$$\varphi = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon}}{\lambda}$$

де λ – довжина хвилі сигналу в вакуумі

В результаті:

$$\frac{d\phi}{d\varepsilon} \approx \frac{\pi \cdot l}{\lambda \sqrt{\varepsilon}}$$

Отже

, керування зсувом фази в умовах резонансу в відрізку МСЛ приблизно в Q (навантажена добротність резонатора) раз більше, ніж в ідентичному, але узгодженому відрізку лінії. Теоретичні дослідження розглянутої конструкції фазообертача проводилися в квазістатичному наближенні на моделі дворезонаторного фільтру зі стрибком хвильового опору.

Прямі втрати у всіх випадку не перевищували 1 дБ. Обурення планарної структури, виготовленої раніше, здійснювалося наближенням або віддаленням діелектричної пластини до розімкнених кінців чвертьхвильових резонаторів (рис 5.3.1 , 5.3.2).

При вимірюваннях робоча точка вибрана так, щоб при перебудові залишитися в смузі пропускання. Крім заданої центральної частоти f_0 і ширини смуги пропускання Δf за рівнем – 3 дБ від рівня мінімальних втрат, задавався максимальний рівень відображень НВЧ потужності.

Налаштування робочої смуги фільтра здійснювалася корекцією довжини і ширини полосових провідників і зазору між резонаторами. Було проведено невелике стандартне налаштування, для зменшення нерівномірності АЧХ в смузі пропускання і зниження рівня відображень НВЧ потужності.

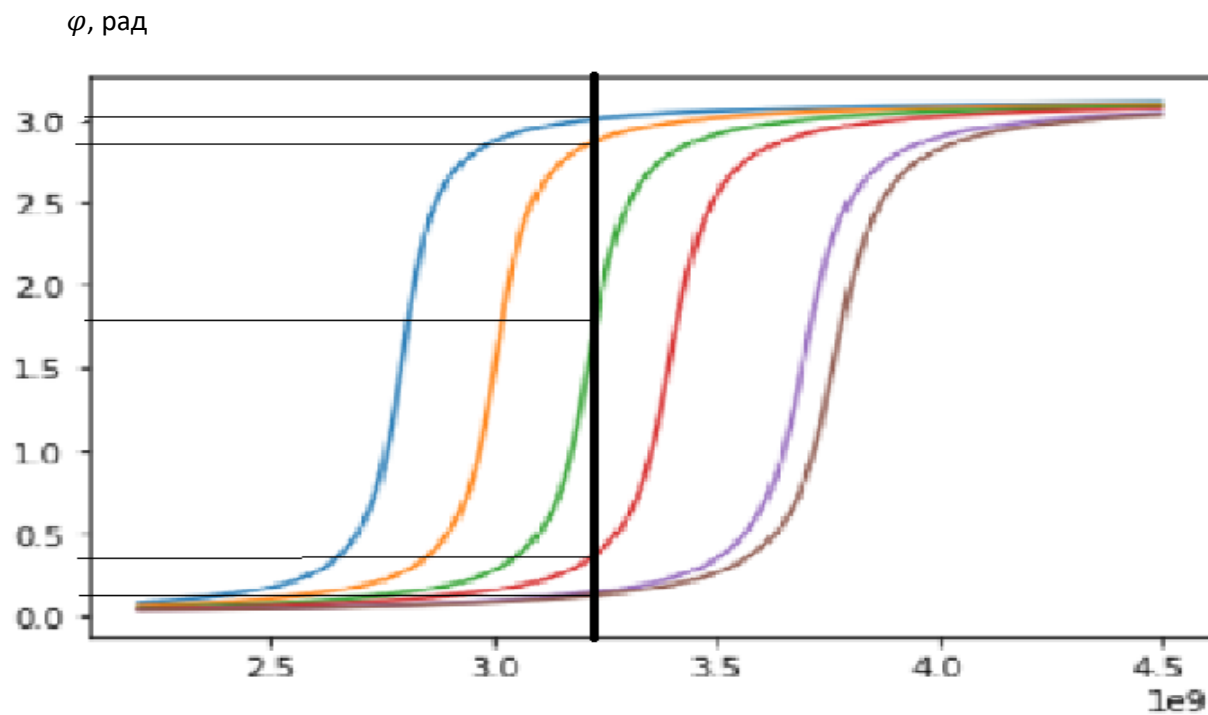


Рис 5.7 – сімейства ФЧХ досліджуваного фільтра.

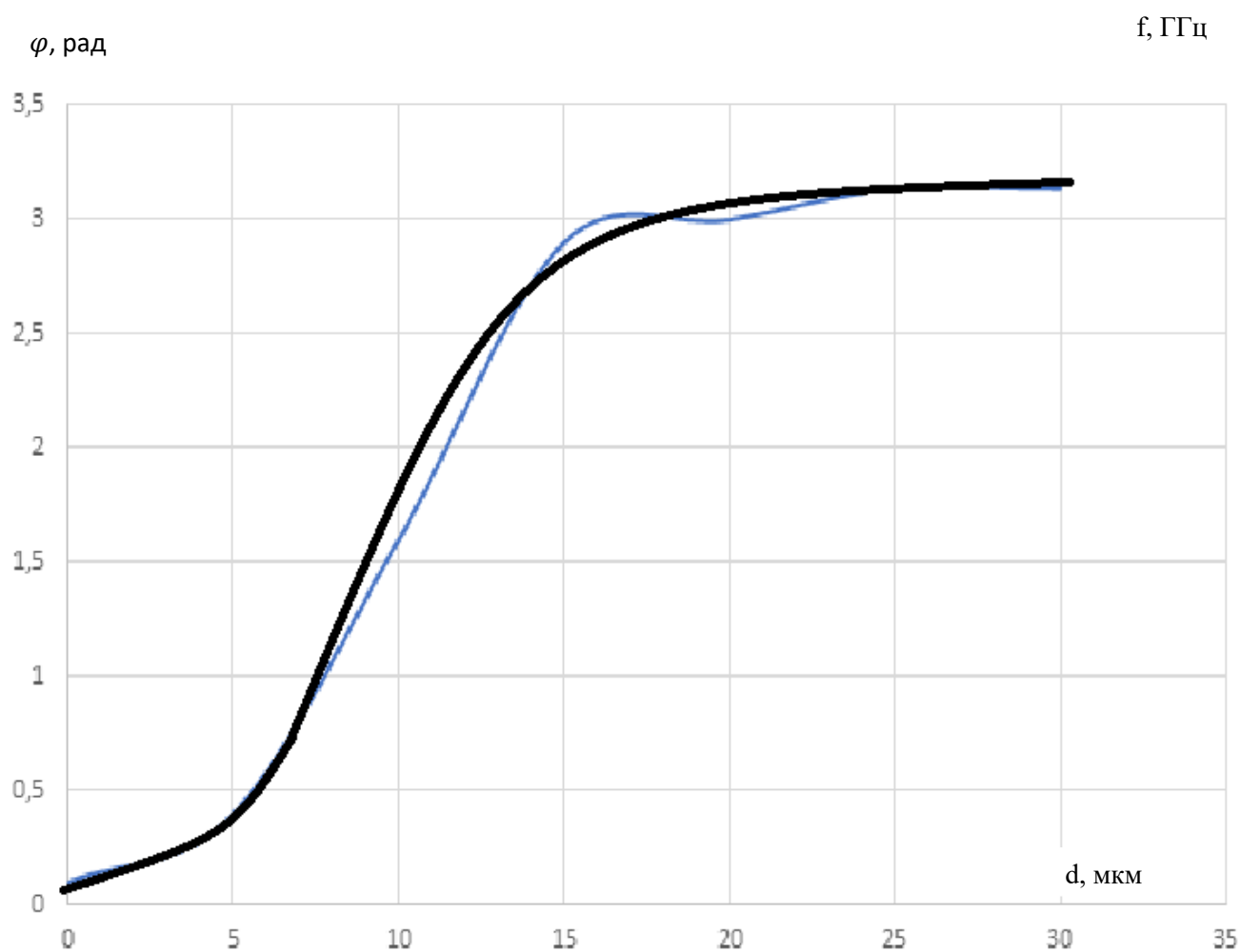


Рис 5.8 – залежність фази від зазору .

Табл 5.2 – залежність фази на частоті 3,3 ГГц від ширини зазору.

φ , рад	0,2	0,4	1,7	2,7	3,01
d , мкм	0	5	10	15	20

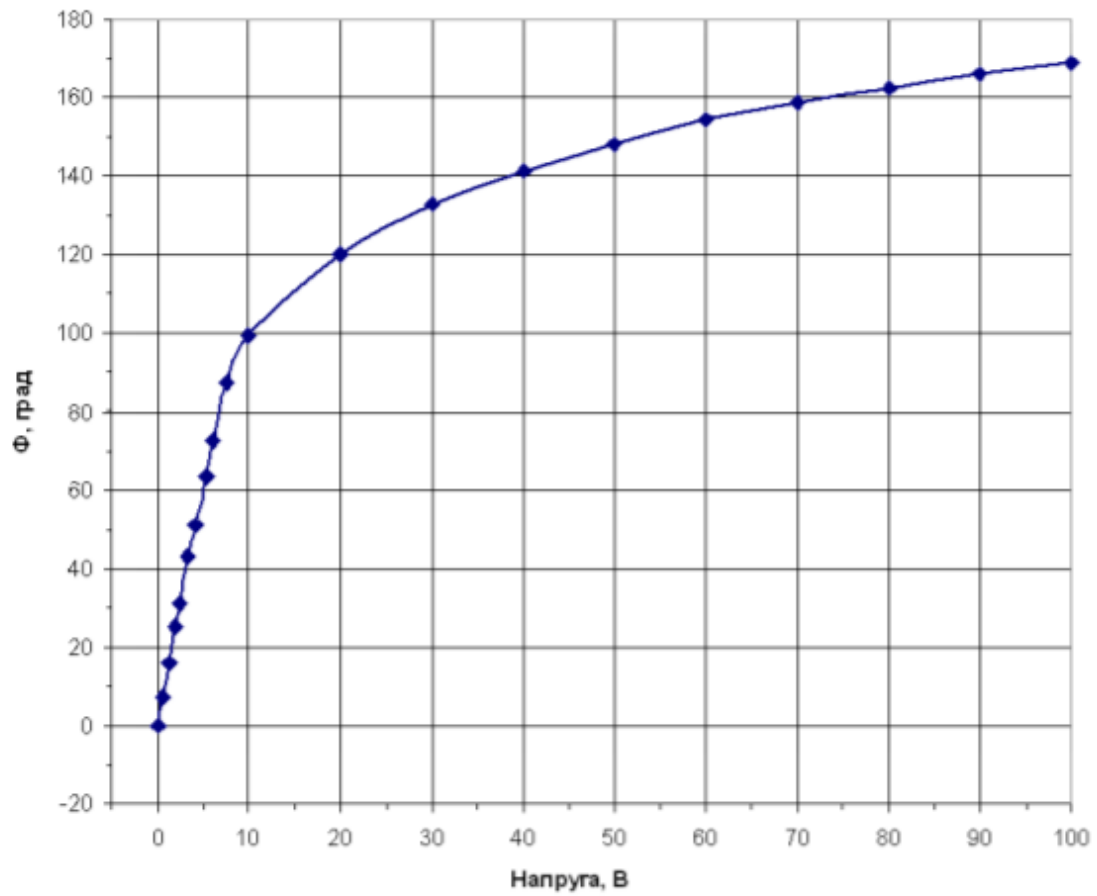


Рисунок 5.9 – залежність фази від напруги на п'єзoeлементі.

Висновки по розділу

Були побудовані АЧХ і ФЧХ керованого фільтру на основі мікросмужково-го фільтру. Було визначено, що керування фазою і зміщення частоти має сенс при зміні зазору від 0 до 50 мкм.

6. Розробка стартап проекту

6.1 Опис керованого НВЧ фільтру на основі неоднорідних мікросмушкових резонаторів

Таблиця 6.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея полягає в розробці НВЧ фільтра з покращеною схемою керування	1.НВЧ техніка для мобільного зв'язку 2. НВЧ техніка космічного та військового зв'язку.	Використання матеріалів з більш низькою ціною.

Таблиця 6.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1.	Економічні	100 у.о.	720 у.о.	277 у.о.	438 у.о.			+
2.	Призначення	НВЧ техніка мобільного, космічного та військового	НВЧ техніка мобільного, космічного та вій-	НВЧ техніка мобільного, космічного та вій-	НВЧ техніка мобільного, космічного та вій-		+	

		зв'язку.	скового зв'язку.	скового зв'язку.	скового зв'язку.			
3.	Надійності	Використання надійної високо оборотної системи	Використання дорогого, але також надійного обладнання	Використання механічних систем керування	Використання механічних систем керування	+		
4.	Технологічні	Налаштування після виробництва не є необхідним. Присутні необхідні алгоритми розрахунку	Налаштування після виробництва є необхідним.	Налаштування після виробництва є необхідним, також потребує складних розрахунків параметрів	Налаштування після виробництва є необхідним.		+	
5.	Ергономічні	Зручність в керуванні.	Система зручна в керуванні та налаштуванні	Система зручна в керуванні та налаштуванні	Система зручна в керуванні та налаштуванні		+	
6.	Органолептичні	-	-	-	-		+	
7.	Транспортability	Має невеликі розміри, завдяки чому фільтр може бути встановлений в маленьких корпус	Має невеликі розміри, завдяки чому фільтр може бути встановлений в маленьких корпус, але система керування має також ро-	Має невеликі розміри, завдяки чому фільтр може бути встановлений в маленьких корпус, але система керування має також ро-	Має невеликі розміри, завдяки чому фільтр може бути встановлений в маленьких корпус, але система керування має також ро-			+

			зміри, як і сам фільтр.	зміри, як і сам фільтр.	зміри, як і сам фільтр.			
9.	Екологічно- сті	-	-	-	-		+	
10	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно	Безпечно		+	

Конкурент 1: НВЧ фільтр з керуванням за допомогою оптичних систем.

Конкурент 2: НВЧ фільтр з керуванням за допомогою механічних систем МЕМС.

Конкурент 3: НВЧ фільтр з керуванням за допомогою варисторних систем.

Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 6.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її ре- алізації	Наявність техно- логій	Доступність те- хнологій
1.	Керування харак- теристиками фі- льтру простим і технологічним методом	Мікросмужкові лінії на планар- ній технології	Наявні, використо- вуються стандарт- ні методи металі- зації.	Доступно.
		Керуюча схема – однокаскад- ний підсилювач на біполярному транзисторі.	Надійна перевірена роками технології.	Доступно.
		Обрана технологія реалізації ідеї проекту: однокаскадний підсилювач на біполярному транзисторі.		

Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 6.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2770
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	300

Ринок є привабливим для входження.

Таблиця 6.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Потреба у фільтруванні переданого сигналу	Компанії зв'язку, військові, космічні програми.	Поведінку клієнта формують укази держави, де планування та закіпівля подібної апаратури у відповідні установи.	Простота керування, надійність конструкції

Таблиця 6.6 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
---	--------	---------------	--------------------------

п/п			
1.	Наявність кваліфікованих кадрів	Даний продукт є науковою розробкою, тому персоналу необхідно мати певні знання і навички	Пошук персоналу у науково-дослідних інститутах та організаціях
2.	Потреба в ресурсах	Необхідне технічне забезпечення, а також певні умови для тестування	Укладання договорів з державними структурами для фінансування та надання можливостей для тестування продукту

Таблиця 6.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Спонукає розробляти і виробляти нові продукти, знижувати витрати їх виробництва і вартість	Виготовлення більш ускладненої структури і розробка нової функціональності
2.	Попит	Існування стійкого попиту означає, що більшість клієнтів зацікавлені у введенні інновацій	Рекламна діяльність, просування товару у інтернеті

Таблиця 6.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції	Присутність на ринку фірм, які випускають НВЧ прилади	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій та залучення кваліфікованого персоналу
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально; офіси розміщено у різних містах	Створення веб-сайту компанії

3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо.	Слідкувати за продуктами конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Передбачає продаж продукції за більш низькими цінами, ніж конкуренти.	Продавати товар за низькою ціною.
6. За інтенсивністю - марочна	Боротьба носить явно виражений марочний характер, велике значення набуває брендинг	Створення логотипу

Таблиця 6.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	“Микран”, “БЕЛЛА”	Немає	Виробник продає товар без посередників	Вимоги до якості	Замінників немає
Висновки:	Інтенсивність досить висока, бо продукт є наукоємним і тому не кожна фірма здатна розробити такий продукт	Немає	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Товар має бути якісним та дешевим	Обмежень немає

Для виготовлення конкурентоспроможного товару виникає необхідність висококваліфікованих кадрів зі знаннями у галузі та програмуванні.

Таблиця 6.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ступінь задоволення потреб користувача.	Продукт має мати зручний механізм керування.
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	Робота продукту з високою стабільністю при помірному зовнішньому тиску, вологості, та механічних коливаннях.
3.	Наявність наукових ресурсів	Необхідні кваліфіковані кадри для оптимізації розрахованих даних.
4.	Економічний (ціна товару)	Ціна товару має бути не надвисокою, для пошуку покупців, та формулювання іміджу компанії

Таблиця 6.10 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з “Electronic eye”						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб користувача.	15						+	
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	14					+		
3.	Наявність наукових ресурсів	17				+			
4.	Економічний (ціна товару)	20	+						

Таблиця 6.11 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: економічна (ціна товару).	Слабкі сторони: ступінь задоволення потреб користувача.
Можливості: зниження витрат на виробництво, покращення якості кінцевого продукту.	Загрози: необхідність знаходження кваліфікованих кадрів для співпраці, до того як це зроблять конкуренти.

Таблиця 6.12 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Дослідження поведінки споживачів, пошук наукових ресурсів, розробка програмного забезпечення, створення реклами, взаємодія з органами державної влади для перевірки працездатності програмного забезпечення	90 %	2 роки
2.	Дослідження поведінки споживачів, пошук інвесторів, пошук наукових ресурсів, створення програмного забезпечення, тестування	70%	3 роки

Обрано альтернативу № 1.

Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 6.13 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Державні установи	Готові	Високий	Висока	Середня
2.	Приватні підприємства	Готові	Високий	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1 та №2.					

Таблиця 6.14 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	1	За рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (портфеля укладених контрактів на постачання) і продуктивності підприємство може добитися менших витрат	Витрати на виробництво	Стратегія лідерства на витратах
2.	2	Надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.	Формування попиту у користувачів за рахунок спеціального функціоналу та високої якості товару	Стратегія диференціації

		Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару бути реальною або уявною.		
--	--	---	--	--

Обрано стратегію лідерства на витратах.

Таблиця 6.15 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Так	Так, основний функціонал і якісні показники	Наслідування лідера

Таблиця 6.16 Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до	Базова	Ключові конкурен-	Вибір асоціацій, які мають
---	-----------	--------	-------------------	----------------------------

п/п	товару цільової аудиторії	стратегія розвитку	тоспроможні позиції власного стартап-проекту	сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Електрична розв'язка НВЧ системи зі схемою управління, зменшення впливу однієї на іншу.	Лідерства на витратах.	Невисока вартість, простота в керуванні	Оптимальне співвідношення ціна/якість, наукоємність, співпраця.

Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 6.17 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Простота керування та електрична розв'язка	компактність	Використання дешевих матеріалів, висока надійність.

Таблиця 6.18 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Керований фільтр на основі мікросмужкового резонатора		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Сумістність с сучасними НВЧ системами.	М	
	2. Низька ціна 100 у.о.	М	
	3. Використання механізму керування	М	
	4. Система зручна в керуванні та налаштуванні.	М	
III. Товар із підкріпленням	До продажу: гарантія, надання кредиту.		
	Після продажу: монтаж, , доставка, обслуговування.		

Таблиця 6.19 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	-	200 – 1000 у.о.	10000 у.о. і вище	100 – 500 у.о.

Таблиця 6.20 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати посередник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Замовлення товару на веб-сайті або безпосередньо у фірми	Встановлення контакту, інформування, поділ, зберігання, сортування	Канал нульового рівня	Виробник безпосередньо збуває продукцію покупцям

Таблиця 6.21 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/ п	Специфіка поведінки цільових клі- єнтів	Канали ко- мунікацій, якими корис- туються ці- льові клієнти	Ключові позиції, об- рані для по- зиціону- вання	Завдання рекламного повідом- лення	Концепція рек- ламного звернен- ня
	Використан- ня товару у цілях фільт- рування НВЧ сигналів	Прямі - канал комунікації, коли інфор- мація пере- дається без- посередньо від інформа- тора до інфо- рмованої особи	Низька ці- на, просто- та в керу- ванні	Поширення відомостей про сервіс, демонстра- ція солідар- ності підп- риємств, бе- зумовного виконання взятих на себе зобо- в'язань; інформація про випро- бування то- вару і по- ліпшення його задля споживачів.	Звернення засно- ване на відмінно- стях між рекла- мованим товаром і тим, що пропо- нують конкурен- ти. Звернення ґрун- тується на тому чи іншому моти- ваційному підхо- ді, покликаному впливати на спо- живчі переваги покупців - напри- клад, функціона- льну перевагу, задоволення, імідж, захоплен- ня і альтруїзм.

Висновки по розділу

В розділі розглянуто план розробки стартапу для керованого фільтру НВЧ на основі мікросмужкових ліній. В результаті отримали непогані показники виходу на ринок.

ВИСНОВКИ

Було досліджено керований фільтра з електромеханічним керуванням. Реалізувати даний метод було просто, так як ринок п'єзоелектричних актюаторів досить широкий. Для реалізації керування був використаний актюатор балочного типу.

Даний зразок був досліджений на частотах від 1 ГГц до 4 ГГц, ширина зазору змінювалась від 0 мм до 45 мкм, як видно з залежності при ширині зазору 30 мм не відбуваються зміни, отже подальше збільшення цього параметру не призведе ніяких змін.

Форма АЧХ практично не змінюється в діапазоні перебудови. Однак ефективна перебудова відбувається при зміні зазору від 0 до 50 мкм.

Керування фазою від 0 до π , можливо при зміні напруги на актюаторі від 0 до 70 В.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поплавко Ю. М. Мікрохвильова діелектрична спектроскопія / Ю. М. Поплавко, В. І. Молчанов, В. А. Казміренко. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 304 с.
2. Татарчук Д.Д., Молчанов В.І., Діденко Ю.В., Сергєєв М.С., Поплавко Ю.М. – Вимірювання НВЧ параметрів матеріалів методом неоднорідного мікро-мужкового резонатора
3. Диденко Ю.В. СВЧ методы измерения параметров диэлектрических материалов на основе составного диэлектрического резонатора / Ю.В. Диденко, В.И. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, Д.А. Шмыгин // Electronics and Communications. – 2014. – Т. 19. – №6(83). – С. 14–20.
4. Татарчук Д.Д. Вимірювання НВЧ параметрів матеріалів методом діелектричного резонатора Е-типу / Д.Д. Татарчук // Електроніка і зв'язь. – 2002. – №14. – С. 22–23.
5. Pashkov V. Measurement of dielectric films microwave parameters / V. Pashkov, V. Bovtun, Y. Prokopenko, M. Kempa, V. Molchanov, et al. // Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo'2009): Proc. of 19th Int. Crimean Conf. (Sept. 2009, Sevastopol, Ukraine). – Sevastopol, 2009. – PP. 769– 770.
6. Молчанов В.И. Измерение СВЧ параметров диэлектрических материалов методом тонкого диэлектрического резонатора / В.И. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, А.С. Франчук // Electronics and Communications. – 2015. – Vol. 20. – №1(84). – PP. 23–26.
7. Полосковые линии и устройства сверхвысоких частот: Под ред. В. М. Седых. - М.: Вища школа, 1974. - 276с.
8. Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications. / A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York. - 2001. -p. 456- 460
9. Л. Г. Малорацкий, Л. Р. Явич. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. - М.: Советское радио, 1972. - 232 с.

10. Д. Б. Халяпин. Коаксиальные и полосковые фильтры сверхвысоких частот. -М.: Связь, 1969. -63с.
11. Randall W. Rhea. HF Filter Design and Computer Simulation. / Noble Publishing, Atlanta. - 1994. - p. 432 - 434
12. Теория линий передачи сверхвысоких частот: Пер. с англ. /Под ред. А. И. Шпунтова. - М.: Советское радио, 1951. - 258с.
13. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н. Либ и др.; под ред. В.И. Вольмана. – М.: Радио и связь, 1982. 328 С.
14. Беляев Б.А., Тюрнев В.В., Елисеев А.К. и др. Исследование микрополосковых резонаторов и устройств СВЧ на их основе. Часть I // Препринт № 415Ф ИФ СО АН СССР, Красноярск. 1987. 55 С.
15. Беляев Б.А., Тюрнев В.В., Васильев В.А., Рагзин Г.М. Исследование микро- полосковых резонаторов и устройств СВЧ на их основе. Часть II // Препринт № 448Ф ИФ СО АН СССР, Красноярск. 1987. 44С.
16. Справочник по элементам полосковой техники / О.И. Мазепова, В.П. Мещанов, Н.И. Прохорова и др., под ред. А.Л. Фельдштейна. – М.: Связь, 1979. 336 С.
17. Маттей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1 и 2. – М.: Связь, 1971/1972. 439 С./313 С.
18. Малорацкий Л.Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ. – М.: Сов. Радио, 1976. 316 С.
19. Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. Трехзвенный микрополосковый СВЧ фильтр // Препринт № 710Ф ИФ СО РАН, Красноярск. 1992. 60 С.
20. А.М. Сержантов, Н.А. Дрокин., Измерение диэлектрической проницаемости материалов методом связанных микрополосковых резонаторов Изв. вузов. Физика. – 2008. – №9/2. – С. 211-213
21. Диденко Ю.В. Частотные и температурные зависимости диэлектрических потерь в полупроводниках на СВЧ / Ю.В. Диденко // Electronics and Communications. – 2015. – Т. 20. – №3(86). – С. 9–11

22. В.І. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук Резонатори на основі коротко замкнених відрізків неоднорідних ліній із ступінчастою неоднорідністю // Електроніка и связь, Київ, 2002, №16, с. 47-48.

23. Шмыгин Д.А., Татарчук Д.Д., Еременко А.В., Пашков В.М., Молчанов В.И., Поплавко Ю.М. Фильтры на основе линий передач со скачком волнового сопротивления // СпiMiKo 2010 80

24. Беляев Б.А., Титов М.М., Тюрнев В.В. Коэффициент связи нерегулярных микрополосковых резонаторов Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2000. Т. 43. № 8. С. 722-727.

25. O.N. Litvinenko, V.I. Soshnikov, Oscillating systems for intermittent lenses, Moscow, Soviet radio, 1971. (in Russian).

26. Randall W. Rhea. HF Filter Design and Computer Simulation. / Noble Publishing, Atlanta. - 1994. - pp. 432 - 434

27. P. Yaghmaee, O. H. Karabey, B. Bates, C. Fumeaux, and R. Jakoby, "Electrically Tuned Microwave Devices Using Liquid Crystal Technology," Int. J. Antennas Propag., pp. 1–9, 2013, DOI: 10.1155/2013/824214.

28. A. S. Nagra, O. Jerphagnon, P. Chavarkar, M. VanBlaricum, and R. A. York, "Bias free optical control of microwave circuits and antennas using improved optically variable capacitors," in 2000 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (Cat. No.00CH37017), 2000, vol. 2, pp. 687–690, DOI: 10.1109/MWSYM.2000.863276.

29. P. R. Herczfield, A. S. Daryoush, V. M. Contarino, A. Rosen, Z. Turski, and A. P. S. Khana, "Optically Controlled Microwave Devices and Circuits," in MTT-S International Microwave Symposium Digest, 1985, pp. 211–214, DOI: 10.1109/MWSYM.1985.1131943.

30. Z. Vagra, G. Jaro, and T. Berceci, "Optical control of microwave filters using photodiodes," in 10th MICROCOLL Conference, 1999, pp. 299–302.

31. М.С. Сергеев А.А. Сергеева К.С. Мазур, Збірник статей «X Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2017» «Перестраи-

ваемый СВЧ фильтр на основе неоднородных микрополосковых линий» - 2017 – С. 215-218.

32. Патент України на корисну модель № 107297 «Комірка на основі напівхвильового мікросмужкового резонатора для вимірювання комплексної діелектричної проникності матеріалів на надвисоких частотах» /Пашков В. М.; Татарчук Д. Д.; Молчанов В. І.; Поплавко Ю. М.; Діденко Ю. В.; Сергєєв М. С. 81

33. Mazur K.S. Filters based on segments of microstrip lines / K.S. Mazur, D.D. Tatarchuk, Y.V. Didenko, and A.O. Serheieva // Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018): Proc. of 38th Int. Sci. Conf. (April 24 – 26, 2018, Kyiv, Ukraine). – Kyiv, 2018. – PP. XX – XX.

34. Черний Б.С. Расчет электродинамических характеристик диэлектрических резонаторов с перестройкой частоты диэлектрическими дисками// Изв. вузов СССР. Сер.Радиоэлектроника.- 1980.-N2.- С.60-66.